



Mario Schulze / Sarine WaltenSpül

FLIESSEND

Geschichte, Ästhetik und Politik des
wissenschaftlichen Films

konstanz|university press

Fließend

Mario Schulze / Sarine Waltenpül

FLIESSEND

Geschichte, Ästhetik und Politik
des wissenschaftlichen Films

Konstanz University Press

Publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Dieses Werk ist im Open Access unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 lizenziert.



Die Bestimmungen der Creative-Commons-Lizenz beziehen sich nur auf das Originalmaterial der Open-Access-Publikation, nicht aber auf die Weiterverwendung von Fremdmaterialien (z. B. Abbildungen, Schaubildern oder auch Textauszügen, jeweils gekennzeichnet durch Quellenangaben). Diese erfordert ggf. das Einverständnis der jeweiligen Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber.

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Mario Schulze, Sarine Waltenspül,  <https://orcid.org/0009-0006-2373-3719>, <https://orcid.org/0000-0001-7977-2721>

Publikation: Konstanz, Konstanz University Press 2026
www.k-up.de | www.wallstein-verlag.de
Konstanz University Press ist ein Imprint der
Wallstein Verlag GmbH
Geiststraße 11, 37073 Göttingen
info@wallstein-verlag.de

Umschlagabbildung: Screenshot einer PTV/Shake-the-Box-Analyse einer Strömungsaufnahme aus Prandtls Labor, erstellt durch Daniel Schanz

Einbandgestaltung: Eddy Decembrino, Konstanz

ISBN (Print) 978-3-8353-9191-8
ISBN (Open Access) 978-3-8353-8157-5
DOI <https://doi.org/10.46500/83539191>

Inhalt

Einleitung 7

Kollaboratives Arbeiten und Danksagung 23

1 Strömungsbilder, 1904–1924 27

Ludwig Prandtl und die moderne Strömungsforschung 30 | Eine Geschichte der Fluid-
dynamik 36 | Fotos von der Grenzschicht 39 | Optische Aufzeichnung in der Fluidodynamik 44
Prandtl und die Anschauung 48 | Eine soziale und visuelle Geschichte der Fluidodynamik 52
Friedrich Ahlborns Bilder als Vorbilder 56 | Der Streit zwischen Ahlborn und Prandtl 63
Bilder als Beziehungsmedien 65

2 Laborfilm, 1925–1926 69

Infrastruktur: Institutsneubau 73 | Gegenstand: Hydrodynamik und Turbulenz 76 | Anlass:
Konkurrenz um das Rotorschiff 79 | Kameraumbau: das Unbehagen an der Bewegung 83
Hürde: Messen im Visuellen 87 | Hürde: erschwerte Publizierbarkeit von Filmen 90 | Hürde:
unbehagliche Punkte und Sehstil 94 | Filmproduktion 99

3 Vortragsfilm, 1927–1930 101

Ein visueller Kongress: das Begehren nach Bewegtbild und Beifall 104 | Die Erstaufführung in
London 113 | Die Reaktionen der Fachkollegen: vom »delightment« zum »knowing what to look
for« 116 | Brückenbildung: vom Film in die Theorie 119 | Choreografie der Evidenz: Überarbei-
tung und Wiederaufführung des Films 122 | Subjektivierung und Co-Biografie: ein Showman
auf Weltreise 129 | Die Weltreise: wissenschaftlicher Internationalismus und nationale Interes-
sen 137 | Diebstahl und Spionageverdacht: politische und performative Relevanz des Films 142

4 Hochschulfilm, 1935–1940 147

Ludwig Prandtl und der Nationalsozialismus: Wissenschaft als Ressource 150 | Die Reichsstelle
für den Unterrichtsfilm: vom Klassenzimmer in die Hörsäle 155 | Die Hochschulabteilung der
RfU 162 | Modellfilm im Nationalsozialismus 164 | Film als standardisierte Handelsware 175
Aus den Hörsälen in die Rüstungsfirmen 178 | Die Filmsammlung der Abteilung Hochschulfilm:
visuelle, epistemische und personelle Nachbarschaften 182 | Nationalsozialistische Filmaus-
wahl 187 | Nationalsozialistische Ästhetik: strömende Massen 189

5 Forschungsfilm, 1940–1956 199

Visuelle Entnazifizierung und Entmilitarisierung: 14 zensierte Filme 200 | Von der Geheim-
abteilung Technischer Forschungsfilm zum Institut für den Wissenschaftlichen Film 204
Wiederbeschaffung und Aufbau der Sammlung: materiell-visuelles Wissen als Ressource 208
Wissenschaftlicher Film international: das Committee for Scientific Research Film der ISFA 212
Mit Film zur Weltgemeinschaft: die Encyclopaedia Cinematographica 216

6 Rekrutierungsfilm, 1959–1985 223

Zitieren im Film 225 | Flow Vis for the Space Race: Wissenschaftsvermittlung in Zeiten des Kalten Krieges 227 | Ein neuer Typus des Filmphysikers 230 | Geopolitik der Lehrfilme 233
Stil und Flow: der Göttinger Strömungsfilm im NCFMF 239 | »A feeling of presence« 243
Flow verkaufen 245 | Globale Distribution hoch zwei 250

7 Archiv- und Kunstfilm, 2004–2019 255

Die »non-collection« des Niederländischen Filmmuseums 259 | Die Ränder, jenseits des Kanons 262 | Die Zerstörung der Ränder im Bundesarchiv 265 | Ein experimenteller Film 268 | Frühe Filmexperimente zwischen Kunst, Wissenschaft und Technik 271
Der wissenschaftliche Film als Ressource der Filmavantgarde 275 | Ludwig Prandtl und die Avantgarden 281 | Die Neoavantgarden und der wissenschaftliche Film 283 | Visuelle Musik 285 | Ein unbewusstes Remake im Digitalen 290 | Das Experiment in den ArtSciences der 2000er Jahre 293 | New Media Art oder analoge und digitale Simulation 298

8 Digitalfilm, 2009–2019 301

Bild- und Filmwettbewerbe 303 | IWF Wissen & Medien: neue Medien für den wissenschaftlichen Film 308 | Wissenschaftliches »online-Kino«: IWFdigiclip 310 | DOI: digitale Persistenz vs. digitale Präsenz 313 | AV-Portal: eine partizipative Plattform für Wissenschaftsfilme 318
Das Fortschrittsnarrativ der Digitalisierung 320 | PIV-Analyse: Datenfilm oder wie schreiben Wissenschaftler Geschichte 326 | Visuelles Argumentieren 331

Fast 100 Jahre Strömungsfilm 337

Verzeichnisse 347

Abkürzungen 347 | Archive 348 | Versionen des Strömungsfilms 350 | RfU-, RWU-, EC-, IWF-Filme 350 | Weitere Filme 352 | Abbildungen 353 | Literatur 358

Digitale Ergänzung zum Buch



Auf <https://researchfilm.net/fliessend/> finden sich verschiedene Versionen des Strömungsfilms, von dem dieses Buch handelt. Zudem ist ein digitales Interface verfügbar, das Film und Buch verbindet.

Einleitung

»Nous ne savons parler que de solides, nous ne savons écrire que sur des solides. [...] Inventer l'histoire liquide et les âges d'eaux.«¹

Michel Serres

Die Idee, ein langes Buch über einen kurzen Film zu schreiben, entstand im Laufe des Jahres 2018. Ausschnitte des Strömungsfilms, der für uns damals noch im Singular existierte und noch nicht in einer Vielzahl von Fassungen, Formaten und Wiederverwendungen, geisterten bereits seit einiger Zeit als potenzielles Forschungsmaterial herum. *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern* war dabei allerdings nur einer unter vielen wissenschaftlichen Filmen – jenen Bewegtbildern an den Rändern der Film- und Wissenschaftsgeschichte, die für visuelle Evidenz und Anschauung stehen und wahlweise zur Erkenntnisgewinnung, -vermittlung und zur Datifizierung gereichen. Genauer war der Film ein Beispiel für das gar nicht so kleine Genre von Strömungsfilmen.

Um Strömungsfilme ging es in dem Forschungsprojekt *Luftbilder/Lichtbilder*, in dem wir gemeinsam mit Florian Dombois und Christoph Oeschger tätig waren. Das Projekt widmete sich der Kamera und den Bewegtbildern als Analyse- und Messinstrument in den Wissenschaften. Ein besonderer Fokus lag auf den Kameras, die in Windkanälen zum Einsatz kamen, also jenen Laboren, die im 20. und 21. Jahrhundert bei der selten friedlichen Eroberung

¹ Michel Serres, *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce. Fleuves et turbulences*, Paris: Éditions de Minuit 1977, S. 237. Auf Deutsch lautet die ganze Passage: »Wir können nur über Solides sprechen, wir können nur über Solides schreiben. Warum? Wegen seiner Ordnung und Relationen. Kohärenz, Strenge und Steifheit, das lokale kristalline Molekül ist hier, mehr oder weniger, dasselbe wie dort, es verlängert seine Identität, seine Monotonie, unter starker Spannung. Also schreibt man Geschichte, in der das Lokale unter der Wiederholung eines homogenen Gesetzes zum Globalen zurückkehrt. Der Diskurs unterscheidet sich nicht von dem harten Material, auf dem er geschrieben wird. Eine Mechanik fester Systeme. Hier sind die Gewässer, Katarakte und Ströme, Flüsse und Wirbel der epikureischen Physik. Hier wälzt das Lokale seine schwache Viskosität, ohne das globale Volumen wesentlich zu beeinflussen. Die Spannungen lösen sich nicht weit von seiner Umgebung entfernt. Es gibt, so heißt es, viele Grade der Freiheit. Der Wirbel entsteht und vergeht, in Ungewissheit, aber überall sonst ist die Fläche ruhig, so oder so. Raum gefüllt mit Gelegenheiten. Erfindet die Geschichte des Flüssigen und die Zeitalter des Wassers.« Übersetzt aus dem Französischen durch die Autor:innen.

der Lüfte und des Weltalls halfen. Kameras waren und sind – heute mit digitaler Aufnahme und Verarbeitung – bevorzugte Messinstrumente in der Strömungsforschung. Sie ermöglichen es, das Verhalten der untersuchten Fluide (neben Gasen wie Luft, auch Wasser oder Plasma) berührungslos aufzuzeichnen, wohingegen andere Messverfahren selbst Verwirbelungen produzieren oder nur punktuelle Ergebnisse liefern. Das Projekt fragte daher nach der bis dato weitgehend vernachlässigten Rolle der Kameras bei der Fabrikation von jenem Wissen, das für einige Schlüsseltechnologien des 20. Jahrhunderts leitend wurde.

Also suchten wir in den Archiven verschiedener Strömungsforschungsinstitute nach Hinweisen auf Filmkameras und Berichten über den konkreten Einsatz dieser Kameras. Wir suchten den Blick, der den Wind sichtbar und seine Bewegungen erklärbar und beherrschbar machen wollte. Das war nicht so leicht, denn gerade für die frühe experimentelle Strömungsforschung sind kaum Laborberichte überliefert und in den Publikationen der bekanntesten Fluidodynamiker (kein generisches Maskulinum) spielten die verwendeten Kameras eigentlich keine Rolle. (Mit früher Strömungsforschung meinen wir nicht die hydrodynamische Forschung der frühen Neuzeit, beispielsweise der bekannten Physikprofessorin Laura Bassi,² sondern die moderne Strömungsforschung ab Mitte des 19. Jahrhunderts, die in Deutschland und weitestgehend darüber hinaus ausschließlich männlich dominiert war.) Die Kameras schienen nicht das dringlichste Problem beim Aufbau der immer großformatigeren Experimentalsysteme gewesen zu sein, in denen Modelle von Autos, Zügen, Flugzeugen, Torpedos, U-Booten und so weiter getestet wurden. Dennoch konnten wir einige Kameras ausfindig machen: eine Liesegang, eine ICA, eine Askania Z. Vor allem aber fanden wir neben den wenigen Kameras die vielen Spuren, die diese hinterlassen hatten.

Insbesondere stießen wir immer wieder auf Aufnahmen aus einem bestimmten Labor. In ihrer bekanntesten Schnittversion sind diese Aufnahmen als Film mit dem Titel *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen* veröffentlicht worden. Die Aufnahmen stammen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Strömungsforschung und sind unter der Leitung Ludwig Prandtls und unter Mitarbeit Oskar Tietjens' in den Jahren 1927 bis 1930 entstanden. Wie der Titel bereits besagt, handelt es sich hierbei um Aufnahmen aus einem Wasser- und nicht einem Windkanal. Wasser und Wind gelten in der experimentellen fluidodynamischen Forschung – unter den entsprechenden Bedingungen und mittels der korrekten Berechnungen – als mehr oder weniger austauschbar.

² Vgl. Beate Ceranski, »Und sie fürchtet sich vor niemandem.« *Die Physikerin Laura Bassi (1711–1778)*, Frankfurt a. M.: Campus Verlag 1996.

Da Wasser in Laborsettings leichter zu kontrollieren und visualisieren ist als Wind, fand selbst die Forschung, die auf den Himmel abzielte, oft im Wasser statt. Rückblickend wurde uns klar: Wir suchten nach den soliden Apparaten der Sichtbarmachungen und Messung, stattdessen fanden wir ihre fluiden Bilder und die sich wandelnden Obsessionen für diese.

Je mehr wir in den Archiven, Datenbanken oder schlicht im Internet suchten, desto mehr überraschende Verwendungen des Films und seiner Derivate fanden wir: 1929 brachte Prandtl eine 35mm-Version des Films als Gastgeschenk zum Weltingenieurskongress nach Tokio mit; ein paar Monate später wurde eine Filmrolle auf dem Detroiter Bahnsteig gestohlen, woraufhin ein Kollege Prandtls Spionage vermutete. 1977 musste eine 16mm-Kopie der oben erwähnten Schnittversion aus dem National Aeronautical Lab in Bangalore durch die indische Filmzensur. Dass der Film den Katalog der nationalsozialistischen Reichsstelle für den Unterrichtsfilm und später des Instituts für den wissenschaftlichen Film (IWF) anführte – das wohl ehrgeizigste Vorhaben, Film zu einem Publikationsmedium in den Wissenschaften zu machen – war uns bereits bekannt gewesen. Eine U-Matic (frühes Videoformat) der IWF-Version im Archiv der ETH Zürich entdeckten wir dagegen zufällig beim Gang durch das dortige Bildarchiv in einer Schublade, die wir eigentlich nicht hätten öffnen sollen. Einige schlecht aufgelöste Ausschnitte finden sich auf YouTube, kommentiert durch @counterflow5719 mit »seeing is understanding«;³ ein Screenshot aus dem Film erscheint gänzlich kontextlos auf der Webseite »Einfach Zürich«, einem Netzwerkprojekt zur Zürcher Kulturgeschichte und so weiter.

Diese vielen materiellen und visuellen Funde standen jedoch in Kontrast zu den wenigen Funden in der Forschungsliteratur über wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Filme: In keinem Filmlexikon, in keinem wissenschaftshistorischen oder medienwissenschaftlichen Artikel fanden sich Hinweise zu den Aufnahmen. Nur in der hervorragenden wissenschaftlichen Biografie Ludwig Prandtls von Michael Eckert wird der Film erwähnt.⁴ Je mehr wir suchten, desto klaffender erschien uns die Diskrepanz zwischen Materialfülle einerseits und dürrer Sekundärliteratur andererseits. Warum waren die Aufnahmen und die daraus resultierenden Schnittversionen sowohl den Film- als auch den Wissenschaftsforschenden entgangen? Warum interessierte sich niemand für dieses Ding, wenn es doch anscheinend über mehr als 100 Jahre mannigfaltigste Verwendungen fand? Und hoffnungsvoll

3 Ludwig Prandtl *Historical Flow Visualization Film*, https://www.youtube.com/watch?v=VcggiVSf5F8&ab_channel=E.J.Grifft, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

4 Michael Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager*, Berlin: Springer 2017, S. 166.

fragten wir uns auch: Könnte dieser Film ein Schlüssel sein, mehr über das Verhältnis von Bewegtbildern und Strömungsforschung oder sogar über Film und Wissen zu erfahren?

Die Idee, die Geschichte dieser Filmaufnahmen über das 20. Jahrhundert hinweg und bis ins 21. Jahrhundert zu schreiben, festigte sich schließlich bei der Tagung *Medien der Genauigkeit* in Basel. Bis dahin hatten wir nicht nur allerlei Archivmaterial zu ihrer Produktion und ihren weiteren Wegen durch Raum und Zeit gefunden, sondern auch eine alte 16mm-Kopie von einem ehemaligen IWF-Mitarbeiter erhalten. Diese Version führten wir zu Beginn unserer Präsentation auf einem 16mm-Projektor vor. Wir hatten den letzten Slot im Panel kurz vor der nachmittäglichen Kaffeepause bekommen. Die Konzentration war am Schwinden, die Müdigkeit nach zwei Tagen Konferenz bereits spürbar. Als dann aber anstatt des üblichen Surrens des Beamers das Rattern des Projektors erklang, war dem Film die volle Aufmerksamkeit der Teilnehmenden sicher.

Die Tagungsgäste starteten gebannt auf die Projektion und folgten zunächst der – für an Streamingdienste gewöhnte Augen – viel zu langen Titelsequenz mit Institutsnamen, mitarbeitenden Personen und Erläuterungen zum Versuchsaufbau in Text und Bild. Dann begannen die Aufnahmen: Zu sehen sind ein schwarzer Kreis am linken Bildrand und eine weiß gefleckte schwarze Fläche drumherum (Abb. o.1). Einen kurzen Moment lang herrscht Ordnung im Bild. Dann wird das Standbild zum Bewegtbild, die gefleckte Fläche beginnt sich zu verändern, während der schwarze Kreis stehen bleibt. Die weißen Punkte ziehen nach rechts und formieren sich neu. Rechts des Kreises bildet sich ein weißer Rand, der zu einem Streifen werdend davonzieht. Synchron formt sich ober- und unterhalb des Streifens jeweils ein Wirbel. Drehend lösen sich die Wirbel, sie halten wieder an und bleiben – noch immer drehend – in der Mitte des Bildes stehen. Sie reißen kurz auf, sodass ein schwarzes Loch in den Wirbeln klafft. Dann zerfällt der untere Wirbel und fließt mit den anderen Punkten davon. Die weißen Punkte und Flächen gleichen nun einer chaotischen Schleppe, die durchs Bild weht.

Klar, ein Filmprojektor ist selbst auf einer medienwissenschaftlichen Konferenz eine Ausnahme und erheischt schon deswegen Aufmerksamkeit auf der Bühne des Gelehrtentheaters. Aber dennoch erfuhren wir in dem Moment, in dem die Augen der Tagungsgäste zunächst auf die Wirbel und dann auf uns gerichtet waren, gewissermaßen am eigenen Leibe, wie Film mit dem konkreten Tun von Wissenschaftler:innen zusammenkommt. Wir verstanden, was sich eigentlich von selbst versteht: Film realisiert sich im Moment seiner Vorführung, Film vermag zu ergreifen, dies aber immer in einzelnen

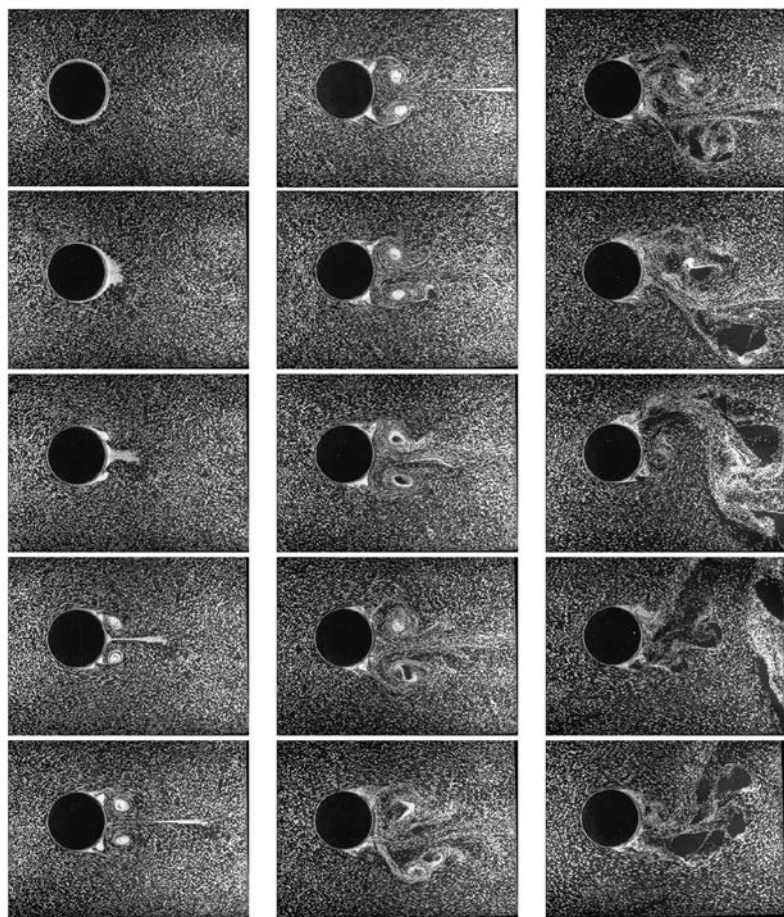


Abb. o.1: Einzelbildsequenz aus *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*.

konkreten Situationen, die ihre eigenen Regeln, Verwicklungen, Hierarchien und Wirkungen haben. In den Worten Thomas Elsaessers: Filme sind stets Halbfertigprodukte, die im »Akt der Vorführung« mitgestaltet werden⁵ – eine Erkenntnis, die in den Filmwissenschaften mit dem stärkeren Fokus auf sogenannte Gebrauchsfilm an Wichtigkeit gewann, auf Filme, die nicht für die Vorführung im Kino erstellt wurden, wie etwa Industrie-, Tourismus- oder

⁵ Thomas Elsaesser, Christa Blümlinger, »Filme Kinos Geschichten Archive Forschungen. Ein Gespräch zwischen Thomas Elsaesser und Christa Blümlinger«, in: *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 8/4 (1997), S. 567–587, hier S. 579.

Lehrfilme. Im Kontrast zu Spielfilmen, Kunstfilmen oder Dokumentationen, auf die sich die Filmwissenschaft lange fast ausschließlich konzentrierte, gilt für Gebrauchsfilme, dass wir sie nicht allein von dem, was sie zeigen und wie sie es zeigen, begreifen können.⁶

Nach unserer Präsentation zielten die Fragen der anwesenden Wissenschaftshistoriker:innen auf die konkreten Produktionsbedingungen des Films und die Episteme der Strömungsforschung ab. Fragen, die wir damals nur teilweise beantworten konnten. Das vergegenwärtigte uns, dass wir nicht nur den zahlreichen Wiederverwendungen und Aufführungen der Filmaufnahmen, sondern auch den fluiddynamischen Theoremen nachgehen mussten, die sich in den Film eingeschrieben hatten. Nur so konnten wir darauf hoffen, besser zu verstehen, wie die Aufnahmen mit dem Wissen, das sie transportieren, und ihrem meist unterschätzten Einfluss auf Gesellschaft und Politik zusammenhängen. Zur Hilfe kam uns bei unseren historischen Produktions- und Laborstudien die wissenschaftshistorische Literatur. Nachdem in den Science Studies lange Zeit nur am Rande erwähnt wurde, dass Wissenschaftler:innen neben Stift, Radierer, Fotokamera und anderen Bildwerkzeugen auch mit Kinematografie oder mit Video gearbeitet haben, hat in den letzten Jahrzehnten (etwa zeitgleich wie die Filmwissenschaft mit ihren Gebrauchsfilmdebatten) eine intensive Beschäftigung mit Forschungsfilmen begonnen. Jimena Canales, Lisa Cartwright, Scott Curtis, Hannah Landecker, Benjamin Schultz-Figueroa, Janina Wellmann und andere haben die Aufmerksamkeit auf die epistemischen Funktionen von Film in der naturwissenschaftlichen Forschung gelenkt.⁷ Sie haben einige Beispiele für den

6 Für die Gebrauchsfilmdebatte vgl. Vinzenz Hediger, »Dann sind Bilder also nichts!«. Vorüberlegungen zur Konstitution des Forschungsfelds »Gebrauchsfilm«, in: *montage AV. Zeitschrift für Theorie und Geschichte audiovisueller Kommunikation* 14/2 (2005), S. 11–22, <https://doi.org/10.25969/mediarep/220>; Yvonne Zimmermann, »Analyse nicht-fiktionaler Filmformen«, in: Malte Hagener, Volker Pantenburg (Hg.), *Handbuch Filmanalyse*, Wiesbaden: Springer 2017, S. 1–14.

7 Die vorhandenen Studien konzentrieren sich auf Filme aus den Bereichen Biologie (Hannah Landecker, »Microcinematography and the History of Science and Film«, in: *Isis* 97:1 (2006), S. 121–132; Benjamin Schultz-Figueroa, *The Celluloid Specimen: Moving Image Research into Animal Life*, Berkeley: University of California Press 2023) und Medizin (Lisa Cartwright, *Screening the Body. Tracing Medicine's Visual Culture*, Minneapolis: University of Minnesota Press 1995; Thierry Lefebvre, *La Chair et le celluloid: le cinéma chirurgical du docteur Doyen*, Paris: Jean Doyen 2004; Jesse Olszynko-Gryn, Patrick Ellis (Hg.), »Reproduction on Film«, Special Issue, in: *British Journal for the History of Science* 50/3 (2017)) oder widmen sich der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg (Jimena Canales, *A Tenth of a Second: A History*, Chicago: University of Chicago Press 2009; Janina Wellmann, »Science and Cinema«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 311–328; Scott Curtis, *The Shape of Spectatorship: Art, Science, and Early Cinema in Germany*, New York: Columbia University Press 2015). Auch die Rolle von Filmen bei der Popularisierung von Wissenschaft (Timothy

zweifelloos vielfältigen Einsatz von Film in verschiedenen Wissenschaften ausgegraben und diskutiert. Dabei konzentrierten sie sich meist auf die Arbeit im Labor und auf die erkenntnistheoretischen Veränderungen, die der Einsatz von Film in einer bestimmten Disziplin ausgelöst hatte. So beschrieb Landecker – eine Formulierung Norton Wises übernehmend – den mikrokinoematografischen Apparat als »a kind of materialized epistemology«, der eine neue Art von Zellbiologie konstituierte, die anstatt auf starre Strukturen eher auf das bewegliche Verhalten fokussierte.⁸

Im Anschluss an die Tagung folgten wir den Aufnahmen, die dem Film zugrunde lagen, in möglichst vielen ihrer Verläufe und schrieben deren – um im Bilde zu bleiben – turbulente Geschichte. Diese reicht weit vor die Produktion der Aufnahmen selbst zurück und setzt bei den strömungsdynamischen Theorien ein, die sich schließlich in der Experimentalanordnung materialisierten und die die Produktion der Aufnahmen überhaupt erst ermöglichten. Wie Anna Tsing bezüglich ihrer Matsutake-Pilze (am Ende der Welt) feststellte, »following them takes me on a wild ride–trespassing every boundary«, nahmen uns die Aufnahmen, in dem wir ihnen folgten, auf eine wilde Reise über einige Grenzen hinweg.⁹ Zunächst mussten sie die Mauern des Labors verlassen, hinein in Konferenzsäle, Sitzungszimmer von Rüstungsfirmen, Klassenzimmer und Kinosäle. Mehr und mehr wurden die Aufnahmen zu Filmen. Auch über Ländergrenzen hinweg ging die Reise vom Deutschen Reich nach Großbritannien, in die Sowjetunion, ins Japanische Kaiserreich, in die USA und so weiter. Sie führten uns zu Institutionen, die die Geschichte wissenschaftlicher Filme und/oder der Fluidodynamik geprägt haben: von der Göttinger Aerodynamischen Versuchsanstalt zur Berliner Reichsstelle für den Unterrichtsfilm, zum Physical Science Studies

Boon, *Films of Fact: A History of Science in Documentary Films and Television*, London: Wallflower Press 2008; Oliver Gaycken, *Devices of Curiosity. Early Cinema and Popular Science*, Oxford, New York: Oxford University Press 2015; Max Long, *A Science for Everyday Life: mass media and natural history in early-twentieth century Britain*, im Erscheinen), im Unterricht (Devin Orgeron, Marsha Orgeron, Dan Streible (Hg.), *Learning With the Lights Off. Educational Film in the United States*, Oxford: Oxford University Press 2012) oder in der Sexualerziehung (Anja Laukötter, *Sex – richtig! Körperpolitik und Gefühlserziehung im Kino des 20. Jahrhunderts*, Göttingen: Wallstein 2021) wurde untersucht. Stellvertretend für die umfassende Literatur zum Grenzbereich von wissenschaftlichem Film und Kolonialfilm: Fatimah Tobing Rony, *The Third Eye: Race, Cinema and Ethnographic Spectacle*, Durham, NC, London: Duke University Press 1996.

⁸ Hannah Landecker, »Creeping, Drinking, Dying: The Cinematic Portal and the Microscopic World of the Twentieth-Century Cell«, in: *Science in Context* 24 (2011), S. 381–416, hier S. 381, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000160>.

⁹ Anna Lowenhaupt Tsing, *The Mushroom at the End of the World. On the Possibility of Life in Capitalist Ruins*, Princeton: Princeton University Press 2015, S. 137.

Committee in Massachusetts, zum Institut für den Wissenschaftlichen Film, zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, zum Niederländischen Filmmuseum und zur Interfaculty ArtScience in Den Haag. Die Strömungsaufnahmen wanderten innerhalb des militärisch-industriell-akademischen Komplexes hin und her bis in die sogenannte »Military-Industrial Avant-Garde«. ¹⁰ Sie führten uns jedoch auch in Sackgassen hinein: So fanden wir nicht heraus, wie sie ins National Aeronautical Lab von Bangalore gelangten, noch von wem sie gesehen wurden oder ob sie von dort an andere Institutionen in Südasien gingen. Ebenso fanden wir trotz zahlreicher Bemühungen nie exakt die Premierenversion, quasi das ›Original‹, das Prandtl 1927 bei der Royal Aeronautical Society vorgeführt hatte. Unser Begehren nach einem ›Ursprung‹ blieb damit unbefriedigt – und wir blieben unruhig.

Die vielseitigen interdisziplinären, interinstitutionellen und internationalen Bewegungen der Filmaufnahmen stellten uns vor die Aufgabe, den Film nicht von einem Punkt seiner ›Existenz‹ aus zu verstehen. Also untersuchten wir die fortlaufenden analogen wie digitalen Wiederverwendungen der Aufnahmen in ihrer wechselnden Materialität (von 35-mm-Nitrofilm über 16-mm-Sicherheitsfilm bis hin zu verschiedenen Dateiformaten) und Visualität (vom Rohschnitt über nachbearbeitetes Found-Footage-Material bis hin zu digitaler Farbkorrektur und Rauschreduktion) sowie in ihren wechselnden epistemischen Funktionen (zwischen Messung, Forschung, Lehre und Erinnerung). Wir untersuchten, wie, warum und wann diese wissenschaftlichen Filmaufnahmen nach ihrer Produktion im Labor verbreitet, gehandhabt und archiviert wurden und wie sie schließlich Teil von Lehrfilmen, Wissenschaftskommunikationsfilmen oder experimentellen Kunstfilmen wurden.

Mit dem Ansatz, den vielfachen Wiederverwendungen und Recyclings der Filmaufnahmen nachzugehen, knüpften wir an bestehende Konzepte zur Beschreibung von Wissenszirkulationen an. Zunächst orientierten wir uns an der prominenten Methode der Objektbiografie. Die Idee, dass nicht nur Personen, sondern auch ›unbelebte‹ Objekte ein Biografie haben, die es zu erzählen gilt, zieht sich durch die gesamte westliche wie nicht-westliche Kulturgeschichte hindurch, wird aber in der Regel dem Sozialanthropologen Igor Kopytoff zugeschrieben, der 1986 den Begriff vorschlug. ¹¹ In der Folge wurde das Konzept auf verschiedenste Objekte und Medien übertragen: zum

¹⁰ John Beck, Ryan Bishop, *Technocrats of the Imagination: Art, Technology, and the Military-Industrial Avant-Garde*, Durham, NC: Duke University Press 2020, <https://doi.org/10.1515/9781478007326>.

¹¹ Igor Kopytoff, »The Cultural Biography of Things: Commoditization as Process«, in: Arjun Appadurai (Hg.), *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press 1986, S. 64–91; für eine rezente Übersicht zur Methode vgl.

Beispiel auf wissenschaftliche Bilder¹² und Konzepte,¹³ Daten,¹⁴ Städte¹⁵ oder Medienereignisse.¹⁶ Auch die Biografien einzelner Filme wurden erforscht.¹⁷ Sylvie Lindepergs ausgezeichnete Studie »Nuit et Brouillard«. *Un film dans l'histoire* über Alain Resnais Shoah-Film kann als Referenz für unser Buch gesehen werden. Lindepergs »Mikrogeschichte in Bewegung«,¹⁸ die laut Klappentext der deutschen Übersetzung eine »exemplarische Filmbiografie« sei, ist nicht nur eine Produktions- und Rezeptionsstudie, sondern eine Untersuchung der »verschiedenen Modifikationen und Umschnitte des Films« und der mit diesen zusammenhängenden Institutionen.¹⁹

Die Stärke der biografischen Ansätze liegt darin, dass sie – mit ihrem Fokus auf die Mobilitäten einzelner Objekte sowie dem damit einhergehenden Funktions-, Status- und Bedeutungswandel – Aspekte in den Vordergrund rücken, die verborgen blieben, wenn Dinge nur objektimmanent analysiert

Christian Vogel, »Objektbiographien«, in: Christian Klein (Hg.), *Handbuch Biographie. Methoden, Traditionen, Theorien*, Berlin: J. B. Metzler 2022, S. 293–300.

12 Michael Hagner, Claudio Pogliano, Renato Mazzolini (Hg.), »Biographies of Scientific Images«, Special Issue, in: *Nuncius. Journal of the History of Science* 24/2 (2009).

13 Lorraine Daston, *Biographies of Scientific Objects*, Chicago: University of Chicago Press 2000.

14 Alon Peled, *Traversing Digital Babel*, Cambridge, MA: The MIT Press 2014.

15 Dana Arnold, *The Metropolis and its Image: Constructing Identities for London, 1750–1950*, London: Blackwell 2002.

16 Scott Lash, Celia Lury, *Global Culture Industry: The Mediation of Things*, Cambridge: Polity 2007.

17 Explizit als »film biography« bezeichnet der Theologe Dwight Friesen seine Analysen dazu, wie biblische Filme im täglichen Leben von Christ-innen funktionieren. Die Filmwissenschaftler Barry Maurer und Davis Morton schreiben eine »cinematic biography« über wenige Minuten Filmmaterial von einer Cable-Car Fahrt durch San Francisco kurz vor dem Erdbeben 1906. Metaphorisch spricht der Historiker Bill Niven in seiner Rezeptionsstudie zu *Jud Süß*, einem Dauerbrenner in den Studien zum NS-Film, vom langen Leben des Propagandafilms. Dwight Friesen, »Biographical Approaches to Jesus Films: Prospects for Bible and Film«, in: Richard Walsh (Hg.), *T&T Clark Companion to the Bible and Film*, London: T&T Clark 2018, S. 104–114; Barry Mauer, David Morton, »A Trip Down Market Street: A Century of ›Eureka‹ Moments«, in: *Historical Journal of Film, Radio and Television* 43/1 (2022), S. 1–19, <https://doi.org/10.1080/01439685.2022.2096795>; Bill Niven, *Jud Süß: das lange Leben eines Propagandafilms*, Halle, Saale: Mitteldeutscher Verlag 2022. Vgl. für ein kritische Auseinandersetzung mit dem Konzept der Filmbiografie auch Mario Schulze, Sarine Waltenspül, »Follow the Films. Reuses of a Research Film: Biography, Recycling, Whitewashing, Appropriation, and Palimpsesting«, in: Olga Moskatova (Hg.), *Images on the Move: Materiality – Networks – Formats*, Bielefeld: transcript 2022, S. 229–256.

18 Sylvie Lindeperg, »Nacht und Nebel«. *Ein Film in der Geschichte*, übersetzt aus dem Französischen von Stefan Barmann, Berlin: Vorwerk 8 2010, S. 12.

19 Florian Krautkrämer, »Sylvie Lindeperg: ›Nacht und Nebel‹. Ein Film in der Geschichte«, in: *MEDIENwissenschaft: Rezensionen | Reviews* 28/3 (2011), S. 357–361, hier S. 358, <https://doi.org/10.17192/ep2011.3.209>.

oder nur von einem Punkt in ihrer Geschichte betrachtet würden. Objektbiografien werfen die Frage danach auf, wer oder was eigentlich Handlungsmacht (*agency*) besitzt, und rütteln folglich an Vorstellungen, die ausschließlich sinnbeladenes, intentionales oder menschliches Tun mit in Weltentwürfe einbeziehen.²⁰ Stattdessen geraten angesichts der ständigen Transformationen von Objekten lokale und globale Machtunterschiede und Politiken in den Fokus. Eine Schwäche des Ansatzes besteht jedoch darin – wie zahlreiche Kritiken an der Dingbiografik bereits herausgearbeitet haben –,²¹ dass Objekte und eben auch wissenschaftliche Filme kein ›Bios‹ besitzen und auch keine klar bestimmbare Identität. Einzelne Filmrollen oder -streifen sind zwar materielle Objekte, die produziert werden, durch Zeit und Raum wandern oder aber ein Essigsyndrom bekommen und zerfallen.²² Sie sind jedoch keine Einzelobjekte, sondern mehrfach reproduzierbar: materiell als Kopien und Versionen, und visuell in ihrer Realisation bei der Vorführung. Sie sind, um ein Bonmot von John Law zu entlehnen, »more than one, less than many«.²³ Die in Biografien implizierte Ursprünglichkeit, Linearität und Kontinuität wird diesen Medienspezifika nicht gerecht.

Statt des ›Bios‹ passt die Metapher des Fluiden besser zu unserer Geschichte. Die Geschichte der Filmaufnahmen folgt doch eher den mäandrierenden Verläufen eines (nicht begradigten) Flusses, der sich teilt, wieder zusammenfließt oder versickert. Die Verluste einzelner Kopien erinnern an den Totwasserbereich, der hinter durchs Wasser gezogenen Objekten entsteht und in dem sich nichts mehr zu bewegen scheint. Die Wiederverwendungen einzelner Ausschnitte, ob entkontextualisierend oder instrumentalisierend, entsprechen der freien Beweglichkeit der Teilchen einer Flüssigkeit, deren Bewegungsgesetze sich kaum abschließend bestimmen lassen.

Und nicht zuletzt fühlte es sich mehr als einmal so an, als ob uns die Geschichte in den Händen zerrinnen würde. Uns ist bewusst, dass Zirkula-

20 Janet Hoskins, »Agency, Biography and Objects«, in: Christopher Tilley et al. (Hg.), *Handbook of Material Culture*, London: Sage 2006, S. 74–84.

21 Nanouschka M. Burström, »Things in the Eye of the Beholder: A Humanistic Perspective on Archaeological Object Biographies«, in: *Norwegian Archaeological Review* 49/1 (2014), S. 65–82; Hans Peter Hahn, Hadas Weis, »Introduction: Biographies, travels and itineraries of things«, in: Dies. (Hg.), *Mobility, meaning and transformations of things: shifting contexts of material culture through time and space*, Oxford: Oxbow Books 2013, S. 1–14.; Cornelius Holtorf, »The life-history approach to monuments: an obituary?«, in: Joakim Goldhahn (Hg.), *Gropar & monument. En vänbok till Dag Widholm*, Kalmar: Högskolan i Kalmar 2008, S. 411–427.

22 Ute Holl, Stefanie Schulte Strathaus, »Persephone und Sisyphos im Archiv«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7/2 (2012), S. 143–150, <https://doi.org/10.25969/mediarep/603>.

23 John Law, *Aircraft Stories. Decentering the Object in Technoscience*, Durham, NC, London: Duke University Press 2002, S. 3.

tion und Flow zu den überstrapazierten Metaphern historischer Forschung gehören, es sind Begriffe, die amorph in ihrer Bedeutung und kontingent in ihrem Sinn zu sein scheinen.²⁴ Sie stehen zugleich für Offenheit wie Geschlossenheit, für Richtung und Richtungslosigkeit etc. Unser Buch handelt dagegen im metaphorischen wie im nicht-metaphorischen Sinne vom Fließen und Strömen und nicht von einer diffusen Zirkulation. Denn es geht ganz konkret um fluiddynamische Experimente und um ein Wissen vom Fluiden, das wiederum metaphorisch zwischen Disziplinen, Ländern und gesellschaftlichen Bereichen fließt. Als Buch vom Fließen ist es daher auch ein Versuch, die Aufforderung Michel Serres ernst zu nehmen: »Inventer l'histoire liquide et les âges d'eaux.«²⁵

Fließendes Wasser ist in den letzten Jahren zu einer hoffnungsvollen Metapher der philosophisch-historisch-kritischen Geisteswissenschaften avanciert. Innerhalb der *environmental* oder auch *blue humanities* ist gar von einem *hydrological/oceanic/watery turn* die Rede, im Rahmen dessen das Wasser und seine Rolle bei der Gestaltung von Ökosystemen und sozialen Systemen in den Mittelpunkt der Analyse rückt;²⁶ im sogenannten Neuen Materialismus stehen unsere festen, dem terrestrischen verhafteten Denkkategorien auf dem Prüfstand und werden entlang unserer »watery relations within a more-than-human hydrocommons« neu gedacht;²⁷ und in der Geschichtswissenschaft wird Wasser als ideales Vehikel diskutiert, um die »political ecology

24 Zu dieser Kritik vgl. Stefanie Gänger, »Circulation. Reflections on Circularity, Entity, and Liquidity in the Language of Global History«, in: *Journal of Global History* 12 (2017), S. 303–318; Roland Wenzlhuemer et al., »Forum Global Dis:connections«, in: *Journal of Modern European History* 21 (2023), S. 2–33, <https://doi.org/10.1177/16118944221148939>; zum Materialfluss und der Metapher des *flows* Monika Dommann, *Materialfluss. Zur Geschichte der Logistik an den Orten ihres Stillstands*, Frankfurt a. M.: Fischer 2023, insb. S. 211–214.

25 Serres, *La Naissance* (1977), S. 237.

26 Vgl. stellvertretend: Serpil Oppermann, *Blue Humanities: Storied Waterscapes in the Anthropocene*, Cambridge: Cambridge University Press 2023.

27 Astrida Neimanis, *Bodies of Water: Posthuman Feminist Phenomenology*, New York: Bloomsbury Academic 2017, S. 2. Astrid Neimanis denkt in verschiedenen Kollektiven seit Ende der 2000er »with Water« und interpretiert »Bodies of water« als Ansporn, den Anthropozentrismus und Phallogocentrismus zu überwinden und das Werden anderer Körper zu ermöglichen. Melody Jue zufolge könnten wässrige Umgebungen, verstanden als »wild blue media«, unsere Wahrnehmungen neu ausrichten und Alternativen zu unseren terrestrischen Wissensformen bereitstellen. Auch die deutschsprachige Medienkulturwissenschaft möchte in den Medienästhetiken des Fluiden etwas größtenwahnsinnig das »planetarische Potential des Fluiden als epistemisches Paradigma« erkunden. Melody Jue, *Wild Blue Media: Thinking through Seawater*, Durham, NC: Duke University Press 2020, <https://doi.org/10.2307/j.ctv11g97ph>; Kathrin Dreckmann, Verena Meis (Hg.), *Fluide Mediale: Medialität, Materialität und Medienästhetik des Fluiden*, Berlin, Boston: De Gruyter 2023.

of modern empire at large« zu studieren.²⁸ Die Geschichte des Wassermanagements ist die Geschichte der fundamentalsten sozialen Veränderungen und Umweltveränderungen der letzten 200 Jahre.²⁹ Mit unserer (hoffentlich nicht allzu kanalisierten, sondern fluiden) Geschichte des Strömungsfilms suchen auch wir nach bisher unbekannten Relationen, Verwicklungen und Verwirbelungen in der Wissenschafts-, Film- und Mediengeschichte.

Annemarie Mol und John Law haben sich der Metapher des Fluiden in ihrer Studie zur Anämieforschung bedient: »For in a fluid elements inform each other. But the way they do so may continuously alter. The bonds within fluid spaces aren't stable. Any single component – if it can be singled out – can be missed.«³⁰ Die Fließmetapher liefert – in Übereinstimmung mit unserem Forschungsgegenstand – einen Ansatz, von der Linearität und Geschlossenheit biografischer Zugänge wegzukommen, hin zu einer relationalen Geschichte von mitunter entbehrlichen Elementen: »The study of fluids,« so Mol und Law weiter, »then, will be a study of the relations, repulsions and attractions which form a flow.«³¹ Unsere Geschichte des Strömungsfilms ist eine solche Geschichte der Relationen (*relations*), etwa zwischen der durch die Notgemeinschaft ermöglichten Produktion in einem Kaiser-Wilhelm-Institut und den Vorführungen für eine internationale Community von Strömungsforschern. Es ist eine Geschichte der Abstoßungen (*repulsions*), beispielsweise eines Vorspanns aus dem Nationalsozialismus; und wie diese Abstoßung die Wiederentdeckung des Films durch die fluiddynamische Community in den 2000er Jahren ermöglichte. Es ist eine Geschichte, die Aneignungen, Recyclings, Zerstörungen, Remakes und Reanalysen ins Verhältnis bringen will. Vor allem aber ist es auch eine Geschichte der Attraktionen (*attractions*), der vielschichtigen Obsessionen für das Visuelle in den Wissenschaften.

Uns interessieren Momente wie jene, in denen Wissenschaftler des Kaiserreichs wie Prandtl in zum Gelehrtenkino zweckentfremdeten Theatersälen der altherwürdigen Royal Society einen Einblick in ihre laboreigenen Experimentalanordnung gewährten. In diesen Momenten ging es nie nur darum, Messungen oder Theorien zu präsentieren, sondern immer auch darum,

28 Corey Ross, *Liquid Empire. Water and Power in the Colonial World*, Princeton, Oxford: Princeton University Press 2024, S. 10.

29 Vgl. für eine Übersicht zur Wasser-historischen Literatur: Tamara Fernando, Felice Physioc, Alexis Rider, »Flows of History«, in: *Past & Present* 260/1 (2023), S. 1–31, <https://doi.org/10.1093/pastj/gtad004>.

30 Annemarie Mol, John Law, »Regions, Networks and Fluids: Anaemia and Social Topology«, in: *Social Studies of Science* 24/4 (1994), S. 641–671, hier S. 663, <http://www.jstor.org/stable/370267>.

31 Ebd., S. 664.

visuell zu beeindrucken. Zumal sich in dieser Zeit in unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen neue Kulturen des Umgangs mit dem Visuellen etablierten: Forschungsergebnisse wurden in der Strömungsforschung wie in anderen Disziplinen ab den 1920er Jahren nicht nur in gedruckter Form publiziert, sondern immer häufiger auch in filmischer Form bei Kongressen vorgeführt. Das Visuelle mag, wie Lisa Cartwright festgestellt hat, häufig eine Sackgasse gewesen sein, und es mag Wissenschaftler·innen immer wieder in die Irre geführt haben, aber daraus lässt sich nicht schlussfolgern, dass das Visuelle überbewertet wäre: »if the visual was ›overrated‹ it was because it was seductive and exciting to scientists and STS researchers alike. To dismiss the visual as overrated is to overlook the role of pleasure as an important factor in scientific process.«³²

In Bezug auf den wissenschaftlichen Film hat auch Jimena Canales verlangt, eine »history of cinematographic desires« zu schreiben, die zur technischen Realität der Kinematografie die »components of desire and anticipation« hinzufügen soll. Dabei fragt Canales nach den komplexen Beziehungen zwischen Diskursen und Dingen, Träumen und Realität, ohne dabei ausschließlich auf das ein oder andere zu fokussieren.³³ Und so fragen wir uns in diesem Buch: Was beehrten die Wissenschaftler·innen bei ihren Forschungen zu Strömungen, jenen flüchtig-ephemereren Phänomenen, deren bildliche Repräsentation auch viele Künstler·innen immer wieder beehrten – von Leonardo Da Vinci über Van Gogh und Olafur Eliasson bis hin zu Hito Steyerl? Was beehrte Prandtl zu sehen, zu zeigen und zu entwerfen? Was beehrten andere an seinen Filmaufnahmen?

Zentral an Cartwrights Gedanken ist die Doppelbewegung, die sie vollzieht: Das Visuelle war und ist sowohl in den Forschungen der Naturwissenschaftler·innen als auch in den Forschungen der Wissenschaftsforschenden oft latenter Fluchtpunkt des Begehrens. Was also begehren Forschende einer Visual STS, wenn sie über Bilder und Filme der Wissenschaften arbeiten? Und wie gehen sie mit diesem Begehren um? Jimena Canales saß auch im Publikum, als wir den Film 2018 zum ersten Mal auf 16mm vorführten. Was sahen ihre, für eine Geschichte der Begehren offenen Augen? Was sehen wir? Und was möchten wir die Leser·innen dieser Geschichte sehen lassen?

32 Lisa Cartwright, »Visual Science Studies: Always Already Materialist«, in: Annamaria Carusi, Aud Sissel Hoel, Timothy Webmoor (Hg.), *Visualisation in the Age of Computerization*, New York, Milton Park: Routledge 2015, S. 243–268, hier S. 251.

33 Jimena Canales, »Desired Machines: Cinema and the World in Its Own Image«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 329–359, hier S. 330, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000147>.

Unsere Geschichte der Filmaufnahmen lassen wir lange vor ihrer Veröffentlichung als Film mit Titel, Zwischentiteln und Abspann beginnen. Das **erste Kapitel »Strömungsbilder«** führt zunächst in die Rolle ein, die das Visuelle in der Frühzeit der systematischen Strömungsforschung bis in die 1920er Jahre hinein spielte. Es widmet sich insbesondere dem Beziehungsverhältnis zwischen Prandtl, seinen Bildern und seinen wissenschaftlichen Gefährten respektive Konkurrenten. Bilder waren nicht nur in Prandtls Publikationen und Präsentationen wichtig, sondern ihre Produktion war ein zentraler Teil seiner wissenschaftlichen Arbeit und Theorieproduktion, sie leiteten sein Denken an. Das gilt bereits für den 1904 veröffentlichten Artikel zur Grenzschichttheorie, der ihn berühmt machen sollte. Der paradigmatische Status, den die Grenzschichttheorie in der Strömungsforschung erreichen sollte, hing aber nicht nur an den Fotografien, sondern auch an seinen später produzierten Filmaufnahmen.

Bevor die Aufnahmen entstehen konnten, musste die Filmkamera überhaupt zu einem Teil des experimentellen Settings werden. Im **zweiten Kapitel »Laborfilm«** untersuchen wir die konkreten Produktionsbedingungen der kinematografischen Aufnahmen. Erst das Zusammenspiel von neuen und alten experimentellen Techniken, Apparaten, entsprechenden Lichtquellen und verschiedenen Wasserkanälen bereitete den Weg für gelungene Filmaufnahmen. Voraussetzung der Produktion war zudem ein Institutsneubau, an dem sich verschiedene ökonomische und wissenschaftspolitische Motive in der Zeit nach dem Versailler Vertrag ablesen lassen. Zentral war jedoch die Überwindung eines Sehstils, der an Linien orientiert und an Fotografien und Zeichnungen geschult war, der aber mit den bewegten Punkten in einem Film zunächst nichts anfangen konnte.

Im **dritten Kapitel »Vorführfilm«** widmen wir uns den Vorführpraktiken im Spannungsfeld von wissenschaftlichem Internationalismus und nationalen Interessen. Nachdem Prandtl 1927 einen ersten Zusammenschnitt der Filmsequenzen, der seine Forschungen zur Wirbelbildung kondensierte, bei der Wilbur Wright Memorial Lecture in London vorgeführt und dafür begeisterte Reaktionen erhalten hatte, wurde der Film zum Teil seiner Choreografie der Evidenz. So wie Menschen, die sich mit besonderen Dingen umgeben, um ihre Persönlichkeit zu entwickeln und zu reflektieren, geriet der Film für Prandtl zu einem Objekt, das seine wissenschaftliche Person mit definierte. Er nahm ihn auf seine Vortrags-Weltreise mit, schickte ihn zu Kongressen, und verlieh und verkaufte ihn an befreundete Institute. In diesem Kapitel erweist sich die Performativität von Filmvorführungen als wichtiges Element in der Geschichte der Wissenschaften, das dabei hilft zu verstehen, warum eine Community von einer bestimmten Erklärungsweise

eingenommen oder ein bestimmtes Wissen die Grenzen zwischen unterschiedlichen nationalen Fachpublika leichter zu überbrücken vermochte.

Das visuelle Wissen, welches die Filmaufnahmen zu fassen versprochen, weckte immer wieder neues Interesse. Im **vierten Kapitel »Hochschulfilm«** zeigen wir, wie sie erstmals unabhängig von ihrem Macher eine über die Fachcommunity hinausgehende Wirkung entfalteten. Die Reichsstelle für den Unterrichtsfilm (RfdU), die in Nazi-Deutschland dem Ziel der Gleichschaltung des Bildungswesens dienen sollte, setzte ihren Vorspann vor die Aufnahmen und machte den Strömungsfilm 1936 unter der Signatur C 1 zu einem Gründungsdokument der Abteilung für Hochschulfilm. Der Film wurde damit in seiner Narration und Gestaltung zu einem Modell für weitere Filme, die im Dienste der nationalsozialistischen Hochschulbildung wirken sollten. In dem Kapitel geht es um die Pädagogiken und Politiken der RfdU-Sammlung, um die Rolle Prandtls im Nationalsozialismus, und um die Ästhetik des Films, die – wohl nicht ganz zufällig – mit gewissen Charakteristika nationalsozialistischer Propagandabilder vereinbar war.

Das **fünfte Kapitel »Forschungsfilm«** handelt von der Geschichte des wissenschaftlichen Films in der Nachkriegszeit und vom Wiederaufbau deutscher (Film-)Forschung. Genauer geht es um die Gründungsjahre des Instituts für den wissenschaftlichen Film in Göttingen, der Nachfolgeinstitution der Hochschulabteilung der RfdU sowie der Geheimabteilung Technischer Forschungsfilm, die während des Kriegs Kriegsforschung betrieben hatte. C 1 führte auch den Medienkatalog des IWF bis zu seiner Abwicklung 2010 an. Wir widmen uns den Bedingungen der Möglichkeit der Wiederverwendung der Filme nach dem Krieg, wie der (visuellen) Entnazifizierung und Entmilitarisierung der Filmsammlung, den Bemühungen Deutschlands um einen Beitritt zur International Scientific Film Association sowie der Gründung der Encyclopaedia Cinematographica, ein einzigartiges und wahnwitziges Vorhaben, alle Bewegungsprozesse dieser Welt auf Film zu erfassen.

Im **sechsten Kapitel »Rekrutierungsfilm«** beschreiben wir, dass einzelne Sequenzen des Strömungsfilms auch jenseits des Atlantiks in US-amerikanischen Wissenschaftsvermittlungsfilmen der 1960er Jahre auftauchen. Im Zuge einer massiven pädagogischen Aufrüstung mittels Film nach dem Sputnikschock, sollten die fluiddynamischen Lehrfilme des National Committee for Fluid Mechanics Film (NCFMF) Wissenschaftler:innen für das Space Race mit den Sowjets rekrutieren. Prandtls Filme dienten einerseits als stilistisches Vorbild, weil sie physikalisch-theoretische Abstraktheit mit intuitiver sowie visuell fesselnder Greifbarkeit der Experimente verband. Andererseits wurden die Strömungsaufnahmen appropriiert und in ein neues filmisches Großprojekt integriert, das mit 16mm- und 8mm-Filmen

die Überlegenheit der US-amerikanischen Wissenschaft im Kalten Krieg beweisen und global zirkulieren wollte. Wir gehen in dem Kapitel der Frage nach, warum sich insbesondere die Laboraufnahmen aus dem Wasserkanal für eine Instrumentalisierung im akademisch-militärisch-industriellen Komplex des Kalten Krieges anboten und wie sie zwischen politischen Systemen wandern konnten. Wir beschreiben, wie sie zerschnitten, neu geschnitten, mit Grafiken überlagert, verkauft, kommodifiziert, neu katalogisiert, umformatiert und umbenannt wurden, so dass sie als visuelle Tatsache ohne Autor weiterverwendet werden konnten.

Die Filmaufnahmen waren stets mehr als das fluiddynamische Wissen, das sie transportierten. Im **siebten Kapitel »Archiv- und Kunstfilm«** gehen wir dem Verhältnis von Wissenschafts- und Kunstfilmen nach, ausgehend von der Wiederverwendung des Films im Rahmen von Filmprogrammen, in denen er mit Klassikern des Experimentalfilms kombiniert wurde. Dabei schlagen wir einen Bogen vom absoluten Film über die visuelle Musik bis zur ArtScience Bewegung und der New Media Art. Insbesondere widmen wir uns den kuratorischen und künstlerischen Praktiken Joost Rekvelds, der eine 35mm-Nitratversion des Strömungsfilms im Niederländischen Filmmuseum, heute Eye, entdeckte. Voraussetzung für die radikale Neukontextualisierung des Films waren die Sammlungsstrategien und Archivpolitiken des Eye. Der Umgang mit dem Strömungsfilm im Eye und weiteren Filmarchiven gibt Aufschluss über den unterschiedlichen Status wissenschaftlicher Filme in Filmarchiven zwischen Wegwerfprodukt, *orphan film* und ästhetisierbarem Fundus.

Das **achte Kapitel »Digitalfilm«** handelt von den Auswertungs- und Publikationsmöglichkeiten wissenschaftlicher Filme in der Zeit des Digitalen. Wir folgen ihren digitalen Versionen und Reformatierungen innerhalb der Digitalisierungsprojekte des IWF, das bereits vor YouTube eine Videosharing-Plattform der Wissenschaften plante; und in die Nachfolgeinstitution hinein, die Technische Informationsbibliothek Hannover, die ein zentraler Akteur in der Etablierung von Digital Object Identifiers, kurz DOIs, war. Die Digitalisierung der Strömungsfilme mündete schließlich in einem visuellen Paper zweier DLR-Fluiddynamiker: 80 Jahre nach ihrer Produktion wurden den Strömungsaufnahmen mittels einer computergestützten Analyse Methode Messdaten entzogen. Das visuelle Paper setzt Bildlichkeit und Berechenbarkeit von Strömungsaufnahmen ins Verhältnis. Da es zudem einen Preis für seine visuellen und wissenschaftlichen Qualitäten erhielt, gehen wir den Logiken und Politiken jenes neueren Formats zur Validierung bewegter Bilder in den Wissenschaften nach: den Bilder- und Videowettbewerben.

Angesichts der Omnipräsenz von Bewegtbildern in unserer verwissenschaftlichten Gegenwart – in Zeiten von Nature Video und Science Channels, die Klickzahlen in Millionenhöhe bekommen –, ist es geboten, ein besseres Verständnis für die Funktion von Bewegtbildern in den Wissenschaften zu entwickeln. Dazu möchten wir beitragen und so auch grundlegende Missverständnisse seitens der mit Filmen arbeitenden Wissenschaftler:innen und seitens des Publikums aufklären, das mit Filmen als Belehrung, Beweis oder Wahrheit konfrontiert wird. Die Betrachtung der Art und Weise, in der wissenschaftliche Filmaufnahmen produziert und (materiell sowie visuell) wiederverwendet wurden, soll uns helfen, zu bestimmen, wie, wo und in welchen Formaten sich Forschung in der Gesellschaft manifestiert und wirksam wird. Indem wir die Bandbreite an Variationen aufzeigen, die im Labor produziertes Filmmaterial im Laufe seiner Geschichte durchlaufen hat, wollen wir die ästhetischen, intermedialen und politischen Transformationen filmischen Wissens besser kartieren. Wir hoffen auf neue Narrative, die das Erzählen global-lokaler Geschichten möglich machen, die zeigen, wie Entwicklungen in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft verknüpft waren. Narrative, die uns von einem Verständnis des wissenschaftlichen Films wegführen, das unbeabsichtigt Vorstellungen vom wissenschaftlichen Helden, von fortschrittlicher Kameratechnologie und anderen Ursprungserzählungen reproduziert.

Kollaboratives Arbeiten und Danksagung

Ähnlich wie der Film und seine Aufnahmen zugleich Einzahl und Vielzahl sind, haben wir diese Monografie als Autorin und Autor kollaborativ verfasst und im Kollektiv (ohne uns Sarino Schwulzenspül zu nennen) die Autor:innenfunktion übernommen. Wir haben uns entschieden, unsere Namen in alphabetischer Reihenfolge vor dem Buchtitel aufzuführen. Obwohl wir viele theoretische Orientierungen und Interessen teilen und dazu einen vergleichbaren akademischen Status haben, resultiert dieses Buch und damit auch die Filmgeschichte, die es konstruiert, aus unseren unterschiedlichen Perspektiven. Perspektiven, die es uns ermöglichten, das multidimensionale Bewegtbild-Ding zu fassen. Sarine (Studium der Philosophie, Kunstgeschichte und Kulturanalyse, Doktorat in Medienwissenschaften) brachte aus ihren Forschungen zu Modellen im Film die Ansätze der Apparatusdebatten, die Methodiken der New Film History und künstlerischen Forschung sowie die Kenntnis um Bildpolitiken des Nationalsozialismus ein; Mario (Studium der Kulturwissenschaften, Soziologie, Philosophie, Doktorat in

Kulturanalyse) aus seiner Beschäftigung mit Museums- und Ausstellungsgeschichte die Ideen der neuen und alten Materialismen, die Methodiken der wissensgeschichtlichen Diskursanalyse und die Kenntnis um Objektdiplomatie im Kalten Krieg. Diese Perspektiven korrespondieren oft, aber nicht immer mit den entsprechenden Teilen des Buches. Überhaupt haben wir – auch wenn einzelne Kapitel mehr durch die eine oder andere Person beforscht und geschrieben wurden – Ideen, Material und Argumentation stets geteilt, diskutiert, gemeinsam perspektiviert und schließlich im Einzelnen revidiert und überarbeitet. Dies nach der Maßgabe, stilistische und theoretische Kohärenz zwar herzustellen, allerdings ohne alle Brüche und Widersprüche neutralisieren zu wollen oder zu können; auch weil diese nicht nur unserem Schreiben, sondern auch den Filmaufnahmen und ihrer Geschichte eignen. Indem wir den Strömungsaufnahmen folgten, wurden wir aber auch andere. Wir mussten uns neu disziplinieren, um für die vielen verschiedenen Publika schreiben zu können, die sich für die Geschichte der Filmaufnahmen interessieren könnten: die Physikhistoriker:innen, die Expert:innen für Strömungsvisualisierungen, die Filmarchivar:innen, die Medienkünstler:innen oder die Wissenschaftsvermittler:innen.

Kollaboratives Arbeiten birgt nicht weniger, wohl aber andere Herausforderungen als das immer nur scheinbar souveräne und autonome Forschen und Schreiben einzelner: Es bereitet Freude, Archivfunde zu teilen und gemeinsam zu dechiffrieren. Es hilft, mit anderen Augen zu sehen – oder sehen zu müssen –, und in möglichst geteilten Worten zu schreiben – oder schreiben zu müssen. Es hilft immer wieder neu zu formulieren, um auch bei hochspezialisierten Thematiken verständlich zu bleiben, um (hoffentlich) einen Raum zum Weiterdenken zu eröffnen. Doch Kollaboration erfordert neben einem webbasierten Textverarbeitungsprogramm auch Zeit, Koordination, Verständnis und Geduld. Zeit für viel »talk-work«, ³⁴ die es braucht, um zumindest einige blinde Flecken zu identifizieren oder Verfehltes zu streichen.

Das kollaborative Arbeiten und das »Wir«, das wir im Forschen geworden sind, haben mitunter auch die vielfältigen Gefühle der Unzulänglichkeit abgefedert, die die Riten der Leistungsacademia bei sogenannten Early-Career-Researchers auslösen können – und trotzdem schützte uns das nicht vor Aushandlungen über Schreibanteile, Aneignungen und Urheberschaften. Kollaboration ermöglicht Arbeitsteilung wie konstantes Arbeiten an einem Projekt, wider alle Unkontrollierbarkeiten, die unsere jeweilige Elternschaft

34 Janice Doane, Devon Hodges, »Writing from the Trenches: Women's Work and Collaborative Writing«, in: *Tulsa Studies in Women's Literature* 14/1 (1995), S. 51–57, <https://doi.org/10.2307/464246>.

mit sich brachte. Wissenschaftliches Arbeiten ist ein zeitfressendes Monster und Academia nach wie vor ein eltern- oder allgemein privatslebenfeindliches Umfeld, so dass jede-r Verbündete darin zählt.

Dieses Buch wäre ohne die Hilfe und Unterstützung von verschiedenster Seite nicht zustande gekommen. Ganz besonders danken wir den folgenden Personen, die mit ihren bedachten Kommentaren zu einzelnen oder mehreren Kapiteln beigetragen haben: Michael Eckert, Anke te Heesen, Inge Hinterwaldner, Christoph Hoffmann und Christian Vogel sowie den Beteiligten der Retraiten der Professur für Wissenschaftsforschung an der Universität Luzern: Kris Decker, Sandra Gratwohl, Verena Halsmayer, Eric Hounshell und Florian Huber.

Ebenso danken wir unseren Kollaborateur:innen im Bereich des wissenschaftlichen Films oder der Strömungsforschung sehr herzlich für die Zusammenarbeit im Rahmen von Workshops, Panels und Publikationen, und für Momente, in denen die Forschung zu einem geteilten Prozess werden konnte, insbesondere Christoph Oeschger, Hannah Zindel, Anja Sattelmacher, Oliver Gaycken, Scott Curtis und Vinzenz Hediger, Jürgen Kompenhans, Christian Willert und Daniel Schanz, Sophia Gräfe, Jesse Olszynko-Gryn, Juliane Scholz und Marina Ivanova.

Für die Entwicklung unserer Arbeit waren verschiedene intellektuelle Umfelder und Orte zentral, die uns unverzichtbare Ressourcen bereitstellten. Entsprechend danken wir den Instituten und Personen, die es uns ermöglichen haben, zu denken, forschen und schreiben – und zwar in geheizten Räumen, mit monatlichem Lohn und mit Zugang zu universitären Mitteln und Infrastrukturen. Seit Beginn der Arbeit an diesem Buch waren das die Zürcher Hochschule der Künste, das Collegium Helveticum unter der Leitung von Sebastian Bonhoeffer, Christian Ritter und Mario Wimmer, das Seminar für Medienwissenschaft der Universität Basel, insbesondere Estelle Blaschke und Ute Holl, die Professur für Wissenschaftsforschung an der Universität Luzern von Christoph Hoffmann, die DFG-Kolleg-Forschungsgruppe Medienkulturen der Computersimulation Lüneburg unter der Leitung von Claus Pias und Martin Warnke, eikones – Zentrum für die Theorie und Geschichte des Bildes Basel unter der Leitung von Markus Klammer, Ralph Ubl und Aden Kumler, und die Professur für Wissenschaftsgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin von Anke te Heesen. Unser ganz besonderer Dank gebührt jenen, die uns das kollaborative Arbeiten trotz institutioneller Hürden möglich gemacht haben.

Erste Ideen sowie frühere Versionen einzelner Abschnitte konnten wir bei zahlreichen Vorträgen vorstellen. Ohne diese hätte unsere Forschung

nicht wachsen können. Wichtig waren die detaillierten und unterstützenden Rückmeldungen insbesondere im Rahmen der Kolloquien der Wissenschaftsforschung respektive -geschichte in Luzern, Zürich, Stuttgart und Berlin sowie der Medienwissenschaft in Basel. Neben den bereits genannten Personen danken wir Michael Hagner, Beate Ceranski, Klaus Hentschel, Markus Krajewski und Mathias Grote sowie allen Anwesenden.

Für unsere Recherchen waren die Archive der Max-Planck-Gesellschaft, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, der Technischen Informationsbibliothek Hannover, des MIT, des Deutschen Museums, des Bundesarchivs und des Eye Filmmuseum von zentraler Bedeutung. Ihren Mitarbeiter:innen sind wir zu großem Dank verpflichtet, insbesondere Paul Feindt, Miriam Reiche, Florian Spillert, Susanne Uebele und Jessika Wichner für die stets umsichtige Betreuung und die Erfüllung zahlreicher Wünsche – auch aus der Ferne – sowie Annike Kross vom Eye Filmmuseum, von der wir viel über analoges Filmmaterial lernen durften.

Ferner danken wir all den Personen, die am Prozess der Entstehung dieses Buches Anteil hatten und uns auf die ein oder andere Weise entscheidend unterstützt haben: Mireille Berton, Charlotte Bigg, Arianna Borrelli, David Bucheli, Jimena Canales, Nico de Klerk, Emanuel und Maria Dätwyler, Monika Dommann, Mio und Piet Esch, Werner Große, Annika Haas, Tom Holert, Florian Krautkrämer, Edgar Lejeune, Max Long, Felix Lüttge, Sabine Nessel und Sophie Hartleib, Bettina Papenburg, Joost Rekveld, Hannes Rickli, Florian Schmaltz, Susanne Schmidt, Anna Schürch, Mirjam Steiner, Irene Vögeli, Anne-Katrin Weber und Daniela Zetti.

Wir danken Konstanz University Press und Alexander Schmitz sehr herzlich für die gute und geduldige Arbeit am Manuskript und Buch sowie dem wissenschaftlichen Beirat für die Aufnahme in ihr Programm. Für die zeitraubende und ermüdende Arbeit bei der Erstellung und Kontrolle der Verzeichnisse danken wir Giulia Romani ganz besonders herzlich. Moritz Greiner-Petter danken wir für seine wertvolle Arbeit wie Zusammenarbeit und für das Aufsetzen der digitalen Ergänzung zum Buch.

Kapitel 1

Strömungsbilder, 1904–1924

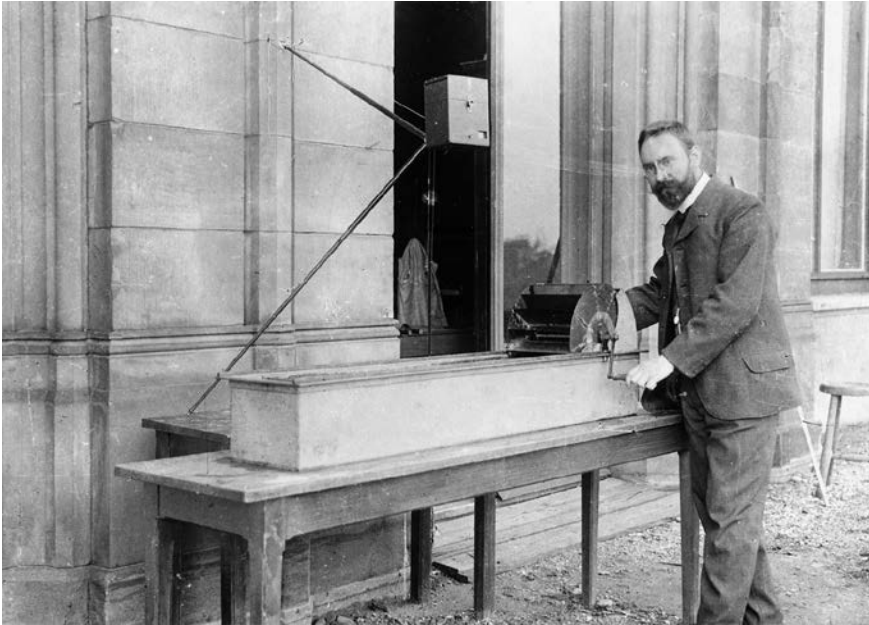


Abb. 1.1: Ludwig Prandtl an seinem ersten Wasserkanal vor dem Hannoveraner Welfenschloss um 1904. Das Bild wurde häufig benutzt, um Prandtl und seine Forschung vorzustellen. Es ist zur Ikone der Strömungsforschung geworden.

Dieses Foto wurde im Jahr 1904 in Hannover aufgenommen. Wer es gemacht hat, ist nicht bekannt. Doch es wurde sorgsam inszeniert. Es zeigt den gerade mal 29-jährigen Professor für Technische Mechanik, Ludwig Prandtl, an seinem ersten Wasserversuchskanal, zu einer Zeit, in der er die ersten Ideen für seine Grenzschichttheorie entwickelte. Die 1,5 m lange Wanne mit Zwischenboden, um den das Wasser beim Betätigen einer Kurbel herumströmte, steht auf einem langen Tisch. Prandtl lehnt sich leicht nach vorne, um mit der einen Hand die Kurbel des Wasserrades zu umfassen. Er zeigt damit, dass er die Strömung selbst erzeugen musste, deren Gesetze er gerade neu formulieren wollte. Es ist die Geste eines »Mannes der Tat«, wie die

Soziologin Tanja Paulitz das wirkmächtige und vergeschlechtlichte Bild des modernen Maschinenwissenschaftlers um 1900 auf den Begriff brachte.¹

Das Foto sollte zu einer »Ikone der modernen Strömungsforschung« werden.² Wenn es darum ging, die »Geburt« der modernen Fluidodynamik zu illustrieren, wurde es immer wieder abgedruckt. Schließlich ist es eines der wenigen Fotos des noch jungen, ambitionierten Ingenieurs, der in der Metaphorik einer genealogischen und patrilinearen Abstammungslogik als »Vater« der Strömungslehre bezeichnet wird. Und es ist das einzige Foto, das sein erstes Experimentalsystem in Betrieb zeigt. Auch wir starten das erste Kapitel mit diesem Foto, jedoch nicht in hagiografischer Absicht. Interessant an dem Foto ist vielmehr, dass Prandtl nicht im Zentrum des Bildes, sondern leicht versetzt am Rande steht, noch dazu draußen im Kies. Das Bild inszeniert weder das geschäftige Treiben eines Labors, noch den Aerodynamiker mit dem skalierten Modell eines Luftschiffs, Autos oder Flugzeugs, wie es später zum Standardsujet wurde.³ Auch das monumentale Hannoveraner Welfenschloss im Hintergrund, dessen historistische Schwere sich im Sockelgeschoss nur erahnen lässt, hat keinen prunkvollen Auftritt. Im Zentrum des Bildes steht vielmehr der Wasserkanal und – das ist für uns entscheidend – darüber eine fotografische Kamera. Bei genauerer Betrachtung wird somit klar, worauf der Fokus sowohl der Bildgestaltung dieses Fotos als auch des Experimentalaufbaus liegt: auf der Kamera. Sie hängt an einem Gestänge, das direkt am Schloss montiert war. Zudem wurde ein zweiter Tisch installiert, der das Gestänge trägt. Sehr wahrscheinlich ist das Setting draußen vor dem Schloss aufgebaut worden, um überhaupt genügend Licht für die Sichtbarmachung der Strömung durch die Plattenkamera zu haben.

Fotos besitzen laut der Fototheoretikerin Elizabeth Edwards die Fähigkeit, die herkömmliche Auffassung des historisch Bedeutsamen zu destabilisieren.⁴ Mit der Relektüre dieses ikonischen Fotos möchten wir eine

1 Tanja Paulitz, *Mann und Maschine. Eine genealogische Wissenssoziologie des Ingenieurs und der modernen Technikwissenschaften, 1850–1930*, Bielefeld: transcript 2012.

2 Michael Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg: Springer 2017, S. 42. Zum Beispiel diente das Foto als Titelblatt zur Festschrift Henry Görtler, Walter Tollmien (Hg.), *Fünfzig Jahre Grenzschichtforschung*, Braunschweig: Vieweg 1955; vgl. dazu auch Michael Eckert, »Der Prandtlsche Wasser-Versuchskanal«, in: Ulf Hashagen, Oskar Blumtritt, Helmuth Trischler (Hg.), *Circa 1903. Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums*, München: Deutsches Museum 2003, S. 155–177.

3 Zum Gelehrtenporträt: Christian Vogel, Sonja Nökel (Hg.), *Gesichter der Wissenschaft: Repräsentanz und Performanz von Gelehrten in Porträts*, Göttingen: Wallstein 2019; zum Porträt in der Aerodynamik: Mario Schulze, »Many Men and a Few Women in the Wind Tunnel«, in: *Wind Tunnel Bulletin* 8 (2018), S. 156–159.

4 Elizabeth Edwards, »Der Geschichte ins Antlitz blicken: Fotografie und die Herausforderung

Geschichte der Fluidodynamik vorschlagen, die nicht primär von Prandtl und seinen Experimentalsystemen handelt, sondern von den Kameras und deren Bildern. Den Grundannahmen der Visual Studies folgend interessieren uns dabei die komplexen und teils überraschenden Zusammenhänge zwischen Apparat und Körper, sowie Bild und Blick. In den ersten drei Kapiteln dieses Buches geht es darum zu zeigen, dass es für eine angemessene Analyse der Entwicklung einer Disziplin, Theorie oder wissenschaftlichen Vaterfigur wesentlich ist, auch die visuellen Produktionen dieser Disziplin zu untersuchen.

Wir schließen damit an die umfassenden und häufig unerwartet komplexen Fragen zum Verhältnis von Bildern und Wissen an: Gibt es eine spezifische Epistemologie des Visuellen? Können Bilder Wissen sein oder produzieren und wenn ja, wie und welche Art von Wissen? Wann dienen Bilder zur Kommunikation und Repräsentation von Resultaten, wann und wie dienen sie zur Verifikation oder Konkretisierung, und wann zur Konzeptualisierung? Wann werden sie kontrovers? Unser Anliegen ist es, das mittlerweile umfassende Korpus an wissenschaftstheoretischer und -historischer Literatur zu diesen Fragen zu erweitern, indem wir unseren Schwerpunkt auf bewegte Bilder legen und auf eine Disziplin, für die Bilder und Bewegtbilder zwar von enormer Bedeutung waren, wie auch viele Einführungswerke betonen, bezüglich derer aber bisher kaum systematische Studien zur Rolle des Visuellen vorliegen.⁵

Der Einstieg in dieses Kapitel über das Foto von Prandtl am Wasserkanal soll außerdem darauf hinweisen, dass die Geschichte des Göttinger Strömungsfilms lange vor seiner Produktion und seiner ersten Vorführung vor Publikum beginnt. Die Geschichte von Bildern und Filmen umfasst nicht nur ihr »Nachleben«, wie von Aby Warburg über Georges Didi-Huberman bis hin zu Ari Larissa Heinrich betont wurde, sondern ebenso ihr nicht minder komplexes

der Präsenz«, in: Herta Wolf (Hg.), *Zeigen und/oder Beweisen? Die Fotografie als Kulturtechnik und Medium des Wissens*, Berlin, Boston: De Gruyter 2016, S. 305–326, hier S. 307.

5 Für die oft betonte Bedeutung der Bilder für die Disziplin stellvertretend das Einführungs-
werk vgl. Markus Raffel et al., *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*, Berlin: Springer 2018,
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-68852-7>; einschlägige historische Studien zur Rolle von
Bildern in der Fluidodynamik von Michael Eckert, David Bloor und Inge Hinterwaldner werden
im weiteren Verlauf zitiert; ein kurzer Übersichtsartikel findet sich in Marc Fermigier, »The use
of images in fluid mechanics«, in: *Comptes Rendus Mécanique* 345/9 (2017), S. 595–604, <https://doi.org/10.1016/j.crme.2017.05.015>; für eine umfassende Übersicht über die Literatur zur Epis-
temologie wissenschaftlicher Bilder bis 2014 vgl. Klaus Hentschel, *Visual Cultures in Science and
Technology*, Oxford: Oxford University Press 2014; Sybilla Nikolow, Lars Bluma, »Die Zirkula-
tion der Bilder zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Ein historiographischer Essay«, in:
Bernd Hüppauf, Peter Weingart (Hg.), *Frosch und Frankenstein – Bilder als Medium der Popularisie-
rung von Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2009, S. 45–78.

Vorleben.⁶ Weniger poetisch, dafür analytisch brauchbarer ist der Begriff des »Viskurses«, um dieses Vorleben zu fassen. Mit Viskurs hat die Wissenschaftstheoretikerin Karin Knorr Cetina die Einbettung wissenschaftlicher Bilder in ein wissenschaftliches Umfeld beschrieben, vergleichbar also mit Aussagen in Diskursen. Als solche werden Bilder (erstens) als Arbeitsmaterialien zwischen Forschenden geteilt, begutachtet, weiterverwendet; sie sind (zweitens) nicht isoliert, sondern stehen »immer im Zusammenhang mit vorherigen, gleichzeitigen, neuen Darstellungen«; und sie sind (drittens) durch eine »interne Beziehung zu wissenschaftlicher Forschung« geprägt.⁷ Entsprechend sind Bilder und Filme Teile langjähriger Auseinandersetzungen sozialer wie epistemischer Art und stehen in Verbindung mit Aussagen, Praktiken, Sehnsüchten und Fehden von Forschenden, sowie mit Theorien, Formeln und anderen Bildern. Sie tragen zur Konsensbildung oder zu Kontroversen bei.

Der Viskurs um den 1927 entstandenen Strömungsfilm setzt bei ebenen Fotografien an, die Prandtl 1904 draußen im Kies an seinem kleinen Wasserkanal machte. Mit diesen Fotos sollte er in der wissenschaftlichen Community bekannt werden. Erst später entstand die Idee, die fokussierten Strömungsphänomene auch mittels Bewegtbildern zu untersuchen. Um den Hoffnungen Prandtls auf die überzeugende Darstellung der Strömung näher zu kommen, werden wir in diesem Kapitel zunächst einen Ausflug in die Strömungsforschung am beginnenden 20. Jahrhundert machen. Mit welchen theoretischen Vorschlägen wurde Prandtl zu einer Gründungsfigur der technisch verwertbaren Strömungsforschung und welche Rolle spielten seine Fotografien dabei? Und wie wurden fotografische Verfahren um 1900 in der Strömungsforschung generell eingesetzt? Schließlich widmen wir uns einem Bilderstreit zwischen Prandtl und dem Hamburger Strömungsforscher Friedrich Ahlborn, der Prandtls Begehren nach dem bewegten Bild entfacht hat.

Ludwig Prandtl und die moderne Strömungsforschung

Ende des 19. Jahrhunderts war die Strömungsforschung (im Deutschen Reich, in der Französischen Republik, dem Vereinigten Königreich von Großbritannien und Irland, Schweden und Norwegen, der Schweizerischen Eidgenossen-

6 Georges Didi-Huberman, *Das Nachleben der Bilder: Kunstgeschichte und Phantomzeit nach Aby Warburg*, Berlin: Suhrkamp 2010; Ari Larissa Heinrich, *The Afterlife of Images: Translating the Pathological Body between China and the West*, Durham, NC: Duke University Press 2008.

7 Karin Knorr Cetina, »Viskurs« in der Physik. Wie visuelle Darstellungen ein Wissenschaftsgebiet ordnen«, in: Jörg Huber, Martin Heller (Hg.), *Konstruktionen Sichtbarkeit*, Wien, New York: Edition Volmeer/Springer 1999, S. 245–261, hier S. 249.

schaft, sowie einigen weiteren Ländern) in zwei mehr oder weniger unabhängige Fachgebiete und Forschungsgemeinschaften gespalten, die jeweils ihren eigenen Regeln und Relevanzen folgten: einerseits die Hydrodynamik, die sich dem Studium sogenannter idealer Fluide, also reibungslose und in der Realität nicht vorkommenden Fluide, mit den Mitteln der Mathematik widmete. Andererseits die Hydraulik, die sich mit den zahlreichen nutzbringenden Anwendungen der erforschten Strömung beschäftigte, etwa mit Schiffen, Kanälen oder Rohren. Theorie und Praxis, Grundlagen und Anwendung, Mathematik und Ingenieurstechnik standen einander weniger unversöhnlich als vielmehr unvermittelt gegenüber.⁸ Diese Spaltung ist keineswegs nur eine Diagnose der Nachgeborenen. Gerade die Strömungsforschenden um 1900 bedauerten die Lage und erhofften sich eine Brücke über den Graben zwischen Mathematik und Ingenieurwesen. Der britische Ingenieur Henry Hele-Shaw schrieb 1899 in der Zeitschrift *Nature*: »one of the most perplexing things in engineering science is the absence of all apparent connection between higher treatises on hydrodynamics and the vast array of works on practical hydraulics.«⁹ Er kündigte zudem an, dass eine Vermittlung zwischen den beiden getrennten Reichen besondere Anerkennung nach sich ziehen würde: »the great reception which awaits the discovery of a theoretical method of completely dealing with viscous liquids«.¹⁰

Hintergrund dieser Spaltung war die Komplexität der mathematischen Gleichungen, die die Strömung linear-viskoser Fluide beschreiben und die Geschwindigkeit sowie den Druck an jeder Stelle im Fluid bestimmbar machen. Diese Gleichungen aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die später nach Charles Navier und Gabriel Stokes benannt wurden, sind nicht-lineare Differentialgleichungen zweiten Grades und als solche mathematisch bis heute kaum (oder nur in wenigen Einzelfällen) allgemein lösbar. Die Mathematiker und Mathematikerinnen,¹¹ die sich mit Strömungen befassten,

8 Für eine Analyse dieser Spaltung vgl. Michael Eckert, *The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline between Science and Technology*, Weinheim: Wiley-VCH 2006, S. 8; Michael Eckert, *The Turbulence Problem: A Persistent Riddle in Historical Perspective*, Cham: Springer 2019, S. 3–7.

9 Henry Hele-Shaw, »The motion of a perfect liquid«, in: *Nature* 60 (1899), S. 446–451, hier S. 450. Andere ähnlich lautende Klagen über den Abgrund zwischen Hydrodynamik und Hydraulik vgl. Eckert, *Dawn of Fluid Dynamics* (2006), S. 28–31.

10 Hele-Shaw, »The motion of a perfect liquid« (1899), S. 450.

11 Wir verwenden hier und im Folgenden die geschlechtergerechte Form, wenn wir von Frauen in der Strömungsforschung der betreffenden Zeit wissen. Für die Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg sind uns vor allem aus der britischen Strömungsforschung zwei Frauen in leitenden Positionen bekannt: Frances Bradfield und Muriel Barker (später Glauert). Im Deutschen Reich blieb die wissenschaftliche Berufsarbeit im Bereich Strömungsforschung bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs fast ausschließlich Männern vorbehalten. Eine Ausnahme hierbei bildet

zogen stattdessen häufig die im Vergleich zu den Navier-Stokes-Gleichungen radikal vereinfachten Euler'schen Gleichungen heran. Die Euler'schen Gleichungen behandeln reibungslose, also ideale Fluide und ergeben sich aus den Navier-Stokes-Gleichungen, wenn man den Koeffizienten für Viskosität auf null setzt und die Wärmeleitung des Fluids vernachlässigt. Diese nicht-linearen hyperbolischen Gleichungen waren zwar für bestimmte Fälle lösbar, aber keineswegs trivial. Sie hielten sozusagen die notwendige Balance aus Herausforderung und Bewältigbarkeit, um eine Forschungsgemeinschaft zu beschäftigen. Das änderte allerdings nichts daran, dass sich die *realen* Fluide in den meisten Fällen nicht so verhielten, wie die *idealen* Fluide, die die Euler'schen Gleichungen beschrieben. Folglich waren sie für die an praktischen Fragen Orientierten häufig wertlos.

Prandtl gilt gemeinhin als derjenige Forscher, der zwischen Mathematik und Anwendung eine tragfähige Brücke zu bauen vermochte, und damit das Zeitalter einer technisch verwertbaren Strömungsforschung einleitete, mit der nicht nur die Fortbewegung auf, um und über den Planeten Erde hinaus revolutioniert werden sollte.¹² Prandtls Verständnis der Aufgaben der Strömungsforschung, wie er sie im gleichnamigen Artikel von 1925 zum Ausdruck brachte, ging weit darüber hinaus und umfasste ebenso die Untersuchung der Kavitation oder Forschung zur Meteorologie.¹³ Zahlreiche wissenschaftliche Communities werden im 20. Jahrhundert auf dieses Wissen zugreifen, von der medizinischen Forschung, über die Meteorologie bis hin zur Ozeanologie.¹⁴

Die Brücke, die Prandtl schlug, bestand darin, die Navier-Stokes-Gleichungen für bestimmte, technisch besonders interessante Fälle zu vereinfachen, jedoch ohne die Reibungskräfte zu vernachlässigen (wie bei der Behandlung idealer Fluide). Prandtls Grenzschichttheorie schlug konkret vor, die Reibung in schwach reibenden Flüssigkeiten wie Wasser oder Luft überall dort zu vernachlässigen, »wo nicht etwa große Geschwindigkeitsunterschiede auftreten oder eine akkumulierende Wirkung der Reibung stattfindet«. Damit

die Mathematikerin und Aerodynamikerin Irmgard Flügge-Lotz, die zunächst als Assistentin bei Prandtl am KWI für Strömungsforschung arbeitete, dann inoffizielle Leiterin der Abteilung für Theoretische Aerodynamik wurde und nach der Emigration in die USA erste Professorin für Ingenieurwissenschaften an der Stanford University wurde.

¹² Vgl. bspw. Tom D. Crouch, *Wings. A History of Aviation from Kites to Aerospace*, New York: W. W. Norton & Compton 2003, S. 37; Helmuth Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970: Politische Geschichte einer Wissenschaft*, Frankfurt a. M.: Campus Verlag 1992, S. 48–70.

¹³ Vgl. Ludwig Prandtl, »Aufgaben der Strömungsforschung«, in: *VDI-Nachrichten* 5/32 (1925), S. 335–338.

¹⁴ Vgl. bspw. Stefan Helmreich, *A Book of Waves*, Durham, NC: Duke University Press 2023.

stellte er die mathematisch interessierten Strömungsforschenden vor Aufgaben, die herausfordernd, aber lösbar und anwendungsrelevant waren, und den technisch Interessierten bot er eine Theorie, die solche Vorhersagen ermöglichte, die den experimentellen Ergebnissen sehr nahe kamen. In den Worten Prandtls: »Dieser Plan hat sich als sehr fruchtbar erwiesen, indem man einerseits auf mathematische Formulierungen kommt, die eine Bewältigung der Probleme ermöglichen, andererseits die Übereinstimmung mit der Beobachtung sehr befriedigend zu werden verspricht.«¹⁵

Wenige Zeilen zuvor spricht Prandtl von Erfahrung statt von Beobachtung. Folglich unterscheidet er hier nicht zwischen Beobachten als Wahrnehmen, Beobachten als Aufzeichnen oder Beobachten als Messen. Auch problematisiert er das – diesen Unterscheidungen zugrundeliegende und in der Naturforschung intensiv diskutierte – Verhältnis von Erkenntnis und sinnlicher Erfahrung nicht weiter. Welchem »Regime der Beobachtung« er folgte, wie er also glaubte, seine Beobachtungen geltend machen zu können, ist folglich weder in diesem Artikel noch – wie wir sehen werden – in seinen späteren Schriften Gegenstand ausführlicher Reflexionen, sondern nur seinem Tun und seinen visuellen Produktionen zu entnehmen.¹⁶

Die Folgen von Prandtls Argumentation für die wissenschaftliche Erforschung sowie die technische Domestizierung der Lüfte und Meere sind kaum zu überschätzen. Die Grenzschichttheorie fand nach und nach überall dort Eingang, wo es darum ging, die Bewegungen von Objekten durch Luft und Wasser zu beschreiben und vor allem zu optimieren. Die Prandtl'sche Theorie trug auf diese Weise mit dazu bei, Formen des Krieges zu ermöglichen, die sich von der Erde lösten, und hoch in den Lüften und tief im Meer ausgetragen werden konnten. Ins Bild gesetzt wurde sein Einfluss auf die Kolonisierung der Lüfte im 20. Jahrhundert im hagiografisches Zeitschriftencover, das zum 125-jährigen Jubiläum des britischen *The Aeronautical Journal* erschien (Abb. 1.2): der alte Prandtl, links im Bild, überblickt den (unter anderem) von ihm angestoßenen technischen Fortschritt vom Hindenburg-Zeppelin bis zur Falcon 9 von Space X.

Als Startpunkt der modernen Fluidodynamik – auch »the age of Prandtl« genannt – wird meist ein 10-minütiger Vortrag mit dem Titel »Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung« angeführt, den der gerade einmal 29-jährige Prandtl 1904 auf dem III. Internationalen Mathematiker-

¹⁵ Ludwig Prandtl, »Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung«, in: *Verhandlungen des III. Internationalen Mathematiker-Kongresses Heidelberg 1904*, Leipzig: Teubner 1905, S. 484–491, hier S. 485.

¹⁶ Zur Herausbildung unterschiedlicher »Regime der Beobachtung« vgl. Christoph Hoffmann, *Unter Beobachtung. Naturforschung im Zeitalter der Sinnesapparate*, Göttingen: Wallstein 2006.

ISSN 0001-9240



ROYAL
AERONAUTICAL
SOCIETY

THE AERONAUTICAL JOURNAL

Covering all aspects of aerospace

Volume 126

Number 1295

January 2022

This special issue marks the 125th anniversary
of The Aeronautical Journal



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

Abb. 1.2: Auf dem Cover der Jubiläumsausgabe des *Aeronautical Journal* vom Januar 2022 überblickt Prandtl seinen Einfluss auf die Luftfahrtgeschichte. Ansonsten hat es nur der englische Ingenieur Frank Whittle, der als Erfinder des Strahltriebwerkes gilt, auf das Cover geschafft.

Kongress in Heidelberg hielt.¹⁷ Die mythische Überhöhung des Vortrags wie des daraus resultierenden Papers von Prandtl ist typisch für eine an Revolutionen orientierte Geschichtsschreibung der Wissenschaften. Doch weder ein einzelner Mann, noch ein einzelner Vortrag oder ein Paper vermögen es, den Lauf der Wissenschaften zu verändern. Ebenso können die Funktionen von wissenschaftlichen Publikationsformaten nicht unabhängig von ihren jeweiligen historischen Kontexten verstanden werden. Der Wissenschaftshistoriker Alex Csiszar schreibt, dass der Status, den das wissenschaftliche Paper im Laufe des 20. Jahrhundert erlangte, dazu ermuntern würde, »to project back onto these earlier epochs twentieth-century sensibilities about what journals are for, the meaning of credit, the character of public knowledge, and even the nature of trust in science.«¹⁸

Wir wollen dem Mythos des einen Papers hier nicht dadurch entkommen, indem wir auf die zahlreichen konzeptionellen Vorarbeiten hinweisen, auf die Prandtl zurückgreifen konnte, wie es etwa Oliver Darrigol in seiner Geschichte der Strömungsforschung »von Bernoulli bis Prandtl« getan hat.¹⁹ Historische Linien in ein mehr oder weniger diffuses Davor oder Danach lassen sich zahlreiche ziehen – und einige davon werden im weiteren Verlauf dieser Studie gezogen, insbesondere wenn sie Strömungsvisualisierungen betreffen, wie etwa die des erwähnten Hele-Shaws oder Friedrich Ahlborns. Prandtl selbst unterstrich, dass seine Ideen zur Grenzschichttheorie von seiner Arbeit an einer Absaugungsanlage bei der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) herrührten, wo er nach seiner Promotion in München und vor seiner Professur an der Technischen Hochschule Hannover als Ingenieur

17 Prandtl, »Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung« (1905); Zitat siehe Eckert, *Dawn of Fluid Dynamics* (2006), S. IX; für eine Geschichtsschreibung der Ein-Artikel-Revolution vgl. John D. Anderson Jr., »Ludwig Prandtl's Boundary Layer«, in: *Physics Today* 58 (2005), S. 42–48, <https://doi.org/10.1063/1.2169443>; Itiro Tani, »History of Boundary-Layer Theory«, in: *Annual Review of Fluid Mechanics* 9 (1977), S. 87–111; Sydney Goldstein, »Fluid Mechanics in the First Half of This Century«, in: *Annual Review of Fluid Mechanics* 1 (1969), S. 1–28. Das Paper Prandtls wurde in seiner Bedeutung für die Physik wiederholt mit dem Aufsatz von Einstein zur Relativität verglichen (James Lighthill, »Fluid mechanics«, in: Laurie M. Brown, Abraham Pais, Brian Pippard (Hg.), *Twentieth Century Physics*, Philadelphia: American Institute of Physics Press 1995, S. 795–912, hier S. 796); vgl. dazu auch David Bloor, »Sichtbarmachung, Common Sense and Construction in Fluid Mechanics: The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl«, in: *Studies In History and Philosophy of Science Part A* 39/3 (2008), S. 349–358, hier S. 352, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2008.06.006>.

18 Alex Csiszar, *The Scientific Journal. Authorship and the Politics of Knowledge in the Nineteenth Century*, Chicago: University of Chicago Press 2018, S. 12.

19 Olivier Darrigol, *Worlds of Flow: A History of Hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*, Oxford: Oxford University Press 2005, S. 264.

angestellt war. Zur Entmythisierung stellen wir nicht den Vorher/Nachher-Vergleich ins Zentrum, sondern eine genaue Beschreibung dessen, wie die Neuigkeit der Grenzschicht in die Welt kam und in der Folge dort blieb. Eine Beschreibung, die deutlich macht, dass es dafür konkrete Praktiken, wandelbare Apparaturen sowie körperliche Subjekte mit handfesten Begehren und realen Freund- und Feindschaften brauchte. Der Film ist ein Puzzleteil in dieser Geschichte und ein Knotenpunkt, an dem sich Praktiken, Materialitäten, Sozialitäten und eben Viskurse treffen.

In der Literatur zur Geschichte der Fluidodynamik herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass die Prandtl'sche Ideen bis in die 1920er Jahre hinein vor allem auf Göttingen beschränkt blieben und vornehmlich dort neue Forschungsergebnisse, weitere Forschungsarbeiten und auch neue technische Entwicklungen ermöglichten.²⁰ Der grundlegende Wandel, der Umbruch, den die Fluidodynamik aufgrund der Grenzschichttheorie durchlaufen sollte, brauchte Zeit. Erst Mitte oder sogar Ende der 1920er Jahre und eben just zu der Zeit, in der der Strömungsfilm 1927 erstmals aufgeführt wurde, wurden Prandtls Theorien auch in Großbritannien zum vorherrschenden Paradigma. Wir wollen mit diesem Buch nicht behaupten, dass der Film der ausschlaggebende Grund für die weitgehende Akzeptanz der Theorie war: Schließlich wäre es absurd, den einen Mann, den einen Vortrag respektive das eine Paper durch den einen Film zu ersetzen. Dennoch möchten wir vorschlagen, visuelle Elemente verstärkt in die Geschichte der Fluidodynamik zu integrieren.

Eine Geschichte der Fluidodynamik

Eine der detailreichsten und lesenswertesten Darstellungen der Geschichte der Fluidodynamik im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts stammt von David Bloor, der als Begründer des in der Wissenschaftssoziologie äußerst einflussreichen *strong programme* bekannt ist. In seinem Buch *The Enigma of the Airfoil* versucht er eine Antwort auf die Frage zu finden, warum sich in Großbritannien bis in die 1920er Jahre hinein die von Prandtl weiterentwickelte Theorie über den Auftrieb einer Tragfläche nicht durchsetzen konnte. Insbesondere geht es ihm darum zu zeigen, warum die Haltungen der im Deutschen Reich

²⁰ Vgl. ebd.; Robert O'Malley schreibt dazu zusammenfassend: »The extremely slow acceptance of Prandtl's boundary layer theory was noted by Dryden and Darrigol. Bloor explains that the British, in particular, stuck too long to the inviscid fluid dynamics of Rayleigh (from 1876). They were ultimately convinced to accept Prandtl's theory, however.« (Robert E. O'Malley, *Historical Developments in Singular Perturbations*, Cham, u. a.: Springer 2014, S. 13.)

und Großbritannien arbeitenden Forschenden derart divergierten und das in Bezug auf die fundamentalste Frage der Aerodynamik: Warum fliegen Flugzeuge? Seine überraschende Antwort auf dieses »Enigma« fasst er in aller Kürze wie folgt zusammen:

My answer has been: Because the British placed aerodynamics in the hands of mathematical physicists while the Germans placed it in the hands of mathematically sophisticated engineers. More specifically, my answer points to a divergence between the culture of mathematical physics developed out of the Cambridge Tripos tradition and the culture of technical mechanics developed in the German technical colleges.²¹

Bloors Geschichte der Fluidodynamik als eine Geschichte rivalisierender Denkkollektive lässt sich auch als der bisher umfassendste Beitrag zur Entmythisierung von Prandtls Heidelberger Vortrag verstehen. Es war keineswegs so, dass in der Fluidodynamik durch das Paper von 1904 plötzlich eine Brücke zwischen Anwendung und Mathematik bestand. Zumindest wollten diese Brücke, wenn wir bei der Metapher bleiben, zunächst nicht viele außerhalb Göttingens überqueren.

Konkret lehnten die britischen Aerodynamiker-innen sowohl die Zirkulationstheorie des Briten Frederick W. Lanchester als auch die ähnliche Tragflügeltheorie von Prandtl ab. Prandtl hatte seine Theorie zwar erst später veröffentlicht, war aber vermutlich unabhängig von Lanchester auf diese Ideen gekommen.²² Ähnlich wie die Grenzschichttheorie basierte die Tragflügeltheorie Prandtls auf Vereinfachungen, die es ermöglichten, die mathematischen Theorien idealer Fluide auf die Vorgänge bei der Umströmung einer Tragfläche anzuwenden. Auch bei ihr bestand der Clou darin, den Einfluss der Reibungskräfte zu beschränken, hier auf die Bildung einer Zirkulation um die Tragfläche und zwei Wirbelfäden an den Tragflächenenden. Es waren also Vereinfachungen, die sich nicht mathematisch ausgehend von den Navier-Stokes-Gleichungen deduzieren, sondern nur ausgehend von einem bestimmten Phänomenverständnis rechtfertigen ließen.

Argumentationen, die nicht mathematisch deduzierbar waren, hatten in der britischen Strömungsforschung einen schweren Stand. Bloor zufolge waren die britischen Strömungsforschenden geprägt durch das sagenumwobene

²¹ David Bloor, *The Enigma of the Aerofoil: Rival Theories in Aerodynamics, 1909–1930*, Chicago: University of Chicago Press 2011, S. 397.

²² Vgl. Prandtls Darstellung der Ideengese: Ludwig Prandtl, »The Generation of Vortices in Fluids of Small Viscosity«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 720–741, hier S. 720.

Dritthjahres-Mathematik-Examen »Tripos« in Cambridge. Nur die, die dort die Bestnote erhielten, die sogenannten *wrangler*, machten Karriere in der Mathematik-lastigen Disziplin. Nachhaltig beeinflusst durch diesen Initiationsritus für eine reine mathematische Lehre war für sie ein deduzierendes Wissenschaftsverständnis typisch.²³ Daher waren sie davon überzeugt, dass Prandtls Theorien, trotz dessen sie überzeugende Resultate und Vorhersagen möglich machten, nicht wahr sein konnten, weil ihre mathematische Herleitung auf ungesicherten Annahmen beruhte.

Prandtl hingegen entstammte als Professor einer Technischen Hochschule der Tradition einer anwendungsorientierten Technikwissenschaft. Er hatte vor seiner wissenschaftlichen Karriere in der Industrie gearbeitet und war an technischen Problemlösungen geschult. Als ihn der Mathematiker Felix Klein nach seinem Heidelberger Vortrag an die Universität Göttingen holte, wurde er zudem Teil des prominentesten Versuchs im Europa jener Zeit, den Dualismus zwischen Wissenschaft und Technik, die Trennung zwischen Universität und Technischer Hochschule aufzuheben. Dank der »Göttinger Vereinigung für angewandte Physik und Mathematik«, einer »neuen Variante der Kooperation von Staat, Wissenschaft und Wirtschaft«, profitierte Prandtl beim Aufbau seiner Forschungseinrichtungen zudem von üppigen Geldern aus der Industrie.²⁴ Prandtl und die wissenschaftliche Schule, die er gründete, stehen folglich für die Verbindung von Mathematik und Experiment, von Wissenschaft und Technik, von Theorie und Anwendung.

Bloor zeigt mit seiner Charakterisierung der britischen und deutschen Strömungsforschung eindrücklich, wie historisch spezifisch und lokal das fluiddynamische Wissen zunächst war. Er demaskiert das soziale und politische Machtfeld, in dem sich die hydro- und aerodynamischen Wissenschaften befanden. Es waren jeweils besondere Interessengruppen, die aufgrund ihrer unterschiedlichen institutionellen Prägungen verschiedene Rhetoriken erlernt hatten. Das agonistische, akademische Machtfeld war zudem eingebettet in ein hochtechnisiertes militärisches Wettrüsten, bei dem es um konkrete technische Fragen ging: Welches ist die beste Flügelform für ein (Unterschall-)Flugzeug für Start, Flug und Landung? Eine Frage, für deren Beantwortung die jeweiligen Regierungen viel Geld ausgaben. Bloors Geschichte macht folglich deutlich, dass es bei der Fluiddynamik stets um

²³ Vgl. Ian Hacking, *Why Is There Philosophy of Mathematics at All?*, Cambridge: Cambridge University Press 2014, S. 184–187; zur Herausbildung der Mathematik-basierten Wissenschaftskultur der *Wrangler*: Andrew Warwick, *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*, Chicago: University of Chicago Press 2003.

²⁴ Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland* (1992), S. 58.

Wissen und Macht ging, um ein Feld, in dem jede Entdeckung Einfluss auf die kommenden Kriege haben konnte.²⁵

Wenn wir uns im Folgenden den Versuchen zur Visualisierung von Strömungen und deren Aufführungen widmen, versuchen wir noch etwas näher an die historische und lokale Spezifität eines Wissens über Bewegungen heranzukommen, das zur Erklärung des Vogelflugs genauso herangezogen werden konnte wie später zur technischen Optimierung von Interkontinentalraketen.

Fotos von der Grenzschicht

Einen ersten Hinweis auf die Bedeutung von Bildern bei der Entwicklung der Fluidodynamik zu einer anwendbaren Wissenschaft liefert Prandtls Heidelberger Vortrag und die Art und Weise, wie er bei dieser Gelegenheit seine Grenzschichttheorie einführte und erläuterte. Lichtbilder, also während des Vortrags an die Wand projizierte Bilder, spielten dabei medial wie argumentativ eine zentrale Rolle. Er führte seine eingangs beschriebenen, am Wasserkanal gemachten Fotogramme auf dem sogenannten Epidiaskop vor, ein Präsentationsinstrument der Firma Zeiss, das auf dem Kongress eigens in einem Vortrag als neue Technik angeworben wurde.²⁶ Aber nicht nur die Präsenz der Bilder während der Präsentation ist bemerkenswert. In dem Band zur Konferenz wurde einzig und allein Prandtls Aufsatz von den 83 darin abgedruckten Beiträgen mit einer Figurentafel ergänzt, auf der seine Glasplattenaufnahmen auf dickerem Glanzpapier lithografiert waren. Über den Seitenrand hinaus ausklappbar ließen sich die Aufnahmen als ständiger Kommentar und als visueller Leitfaden zum gerade einmal acht Seiten umfassenden Text lesen (Abb. 1.3). Die materielle und visuelle Präsenz der

²⁵ Bloor hat immer wieder unterstrichen, dass seine Geschichte keinesfalls als eine Erklärung nach dem Muster missverstanden werden darf, die neue wissenschaftliche Theorie, die Grenzschichttheorie, hätte sich trotz gegenteiliger Evidenz nur aufgrund partikularer Interessen oder kultureller Trägheit nicht durchzusetzen vermocht. Es ist eben nicht so, dass sich in letzter Instanz so etwas wie *die* Rationalität oder *die* epistemischen Faktoren durchgesetzt hätten, die jenseits der Gesellschaft oder Geschichte stünden. Eine solche Interpretation im Sinne eines wissenschaftlichen Fortschrittsglaubens wäre bloß *ex-post* zu treffen und würde der historischen und sozialen Komplexität des wissenschaftlichen Prozesses nicht gerecht. Bloor hat zudem betont, seine soziologisch-institutionelle Erklärung dieser zentralen Episode in der Geschichte des Versuchs der westlichen Welt, durch Bewegungstechnologie die Lüfte und Meere zu beherrschen, sei nicht die einzige mögliche Erklärung. Es gäbe etwa auch eine psychologische oder andere (vgl. Bloor, *Enigma of the Aerofoil* (2011), S. 402). In diesem Sinne schlagen wir hier eine visuelle Erklärung vor.

²⁶ Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 41.

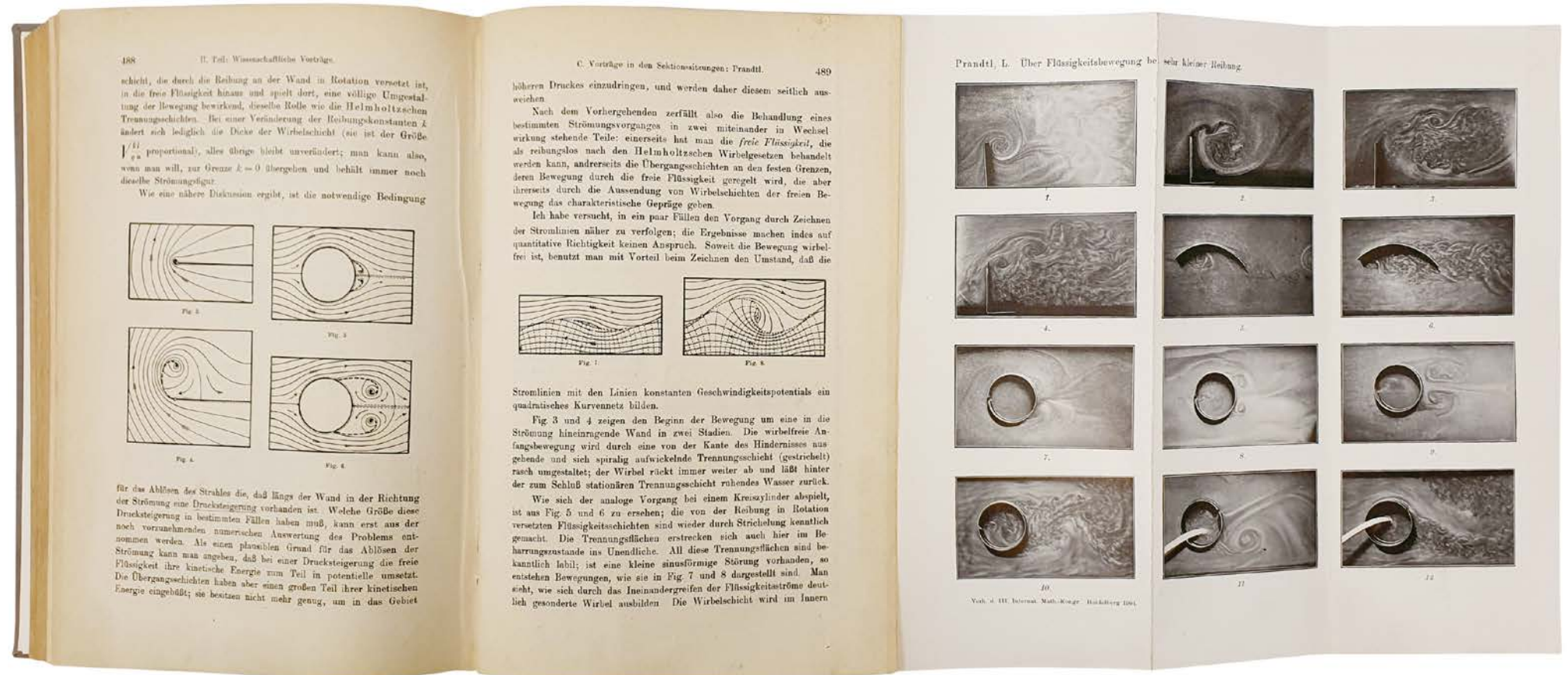


Abb. 1.3: Die ausklappbare Bildtafel zu Prandtls Beitrag im Band zum III. Internationalen Mathematiker-Kongress in Heidelberg von 1904 hob diesen nicht nur von allen anderen Beiträgen ab, sondern erlaubte zudem das synchrone Lesen von Text und Bild.

Bilder in Prandtls Artikel hatte vermutlich entscheidenden Anteil an der Rezeption des Textes. Es ist zudem davon auszugehen, dass Prandtls Text im Vergleich zu den anderen Texten im Band alleine schon durch die platzgreifende Figurentafel mehr Aufmerksamkeit bekommen hat. Trotzdem ist die Figurentafel einer der vielen (visuellen) Aspekte, die in der Literatur zur Geschichte der Fluidodynamik weitgehend unbeachtet geblieben sind.

Die Sorgfalt sowohl bei der Vorführung als auch beim Abdruck der Bilder deutet ferner darauf hin, dass diese nicht bloß eine illustrative Beigabe, sondern einen wesentlichen Teil der Argumentation bildeten. Prandtl argumen-

tierte in Heidelberg, dass für Fluide mit geringer Zähigkeit Reibung nur in der unmittelbaren Nähe eines festen Körpers, der von dem Fluid umströmt wird, eine Rolle spielt. Denn während die Flüssigkeit an der Oberfläche des Körpers haften bleibt (entsprechend der sogenannten No-Slip- oder Haftbedingung), fließt sie im freien Strömungsteil fast ungehindert weiter. Der Bereich mit dem steilen Geschwindigkeitsgefälle dazwischen bildet per definitionem jene Schicht, die er zunächst sowohl als »Trennungsschicht« oder »Übergangsschicht« als auch als »Grenzschicht« bezeichnete, wobei sich letzterer Begriff in den darauffolgenden Jahren insbesondere in den

Dissertationen seiner Studierenden durchsetzte. Außerhalb dieser Schicht würden hingegen im Wesentlichen die Gesetze idealer Fluide herrschen, wie sie in den vergangenen zwei Jahrhunderten in der mathematisch orientierten Hydrodynamik erörtert wurden. Prandtls Ansatz machte es somit möglich, die Erkenntnisse der realitätsfernen Hydrodynamik idealer Fluide zu retten (die außerhalb der Grenzschicht gelten) und dennoch Reibung (in der Grenzschicht) mit einzubeziehen.

Die konkrete Rolle der Fotografien in dieser Argumentation ist zunächst nicht eindeutig zu bestimmen. Prandtl spricht davon, dass er die Aufnahmen aus Versuchen gewonnen hat, die er »zum Vergleich mit der Theorie unternommen habe«.²⁷ Das klingt so, als hätte Prandtl die Bilder bloß produziert, um seine bereits zuvor entwickelte Theorie nachträglich mit den Bildern aus seinem Wasserkanal abzugleichen. Prandtl reproduziert hier die weitverbreitete Annahme, dass Bilder in den Wissenschaften bloß zweitrangig sind, der logischen Beweisführung und dem mathematischen Berechnen untergeordnet. Da die verfügbaren Quellen keinen Hinweis auf den konkreten Einsatz der Bilder in Prandtls Forschungsprozess geben, lässt sich diese Annahme zunächst weder bestätigen noch entkräften. Jedoch liefert eine genauere Analyse der Argumentation im Paper Hinweise darauf, dass die vor dem Welfenschloss am Wasserkanal produzierten Bilder keineswegs schlicht nachträglicher empirischer Test der vorab entwickelten theoretischen Argumentation waren. Die Verhältnisse zwischen Formelsprache, Beschreibung im Lauftext und Bildern waren weitaus komplizierter.

Prandtls mathematische Argumentation beruhte auf zahlreichen nicht weiter begründeten Annahmen, wie sich einzelne Terme der Navier-Stokes-Gleichungen verhalten.²⁸ Insbesondere in Bezug auf das »für die Anwendung wichtigste Ergebnis dieser Untersuchungen« – die Ablösung einer Strömung von einer festen Begrenzungsfläche – konnte er keinerlei konkrete Berechnungen vorlegen.²⁹ Ein Verständnis der Ablösung war jedoch insofern wichtig, als sie in der Grenzschichttheorie letztlich den zentralen theore-

27 Prandtl, »Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung« (1905), S. 490.

28 Es ist wichtig zu betonen, dass dies keine ahistorische Aussage über die generelle Begründbarkeit dieser Annahmen ist. Es heißt schlicht: Prandtl gab in diesem Vortrag keine Gründe an. Die mangelnde mathematische Begründung ist oft diskutiert worden (vgl. u. a. J. A. D. Ackroyd, B. P. Axcell, A. I. Ruban, *Early Developments of Modern Aerodynamics*, Oxford: Butterworth-Heinemann 2001, S. 84).

29 Prandtl, »Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung« (1905), S. 487. Nur für den einfachen Fall einer längs angeströmten Platte konnte er eine konkrete, aber nur »angenäherte« Berechnung des Widerstands präsentieren, ohne dabei seine mathematische Ableitung konkret zu erläutern (Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 43).

tischen Grund lieferte für die Entstehung von Wirbeln und damit für das »charakteristische Gepräge« der Strömung.³⁰ Anstatt angesichts dessen zu kapitulieren, dass er diesen zentral(st)en Teil seiner Argumentation nicht in der exakten Sprache mathematischer Formeln zu fassen vermochte, entwickelte Prandtl eine formelfreie Text-Bild-Argumentation, die sich über mehr als die Hälfte des abgedruckten Vortrages hinzieht. Zunächst beschreibt Prandtl mit mehr oder weniger gängigen physikalischen Begrifflichkeiten, wie er sich den Vorgang der Ablösung vorstellte. Dann verweist er auf von ihm angefertigte Zeichnungen von Stromlinienfiguren, die den Vorgang verfolgbare machen, aber auf »quantitative Richtigkeit keinen Anspruch« erheben würden.³¹ Insbesondere an dieser Stelle zeigt sich der Effekt der ausklappbaren Bildtafel. Durch sie lassen sich die Stromlinienzeichnungen direkt mit den fotografischen Aufnahmen vergleichen und beide wechselseitig aufeinander beziehen. Die Fotografien garantieren die Verknüpfung zwischen den Wörtern, den anhand der Theorie entwickelten Zeichnungen und der mittels Apparaten aufgezeichneten Beobachtung, und sie sorgen für die – um nochmals diese Metapher zu bemühen – Überbrückung von Theorie und Empirie. Die Argumentation kulminiert dabei zum Ende des Textes in reinen Bildbeschreibungen, anhand derer deutlich wird, dass die am Wasserkanal gemachten Aufnahmen beweisen sollten, dass es die von Prandtl angenommene Grenzschicht wirklich gibt.

Zusätzlich unterstrichen wird die Bedeutung der Fotografien dadurch, dass Prandtl die Idee, die Grenzschicht abzusaugen, ausschließlich anhand der Bildbeschreibung einführt. Die Absaugungsidee ist insofern besonders wichtig, da mit ihr der Beweis geführt werden sollte, dass sich die Grenzschicht verändern, ja manipulieren lässt. Ian Hacking hat darauf hingewiesen, dass mit der Möglichkeit der Manipulation eine starke Existenzbehauptung in der Wissenschaft einhergeht: »Experimenting on an entity does not commit you to believing that it exists. Only manipulating an entity, in order to experiment on something else, need do that.«³² Die Fotografien der Absaugung deklarieren in diesem Sinne die Existenz der Grenzschicht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es in Heidelberg die Bilder waren, die dem Publikum jene Einsichten näherbringen sollten, in denen Prandtl die zentrale Bedeutung seines Grenzschichtkonzepts entdeckte: die Fragen nach der Strömungsablösung, der Wirbelbildung und vor allem der

30 Prandtl, »Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung« (1905), S. 488.

31 Ebd.

32 Ian Hacking, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge: Cambridge University Press 1983, S. 429, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511814563>.

Kontrolle der Grenzschicht. Folglich zeigt sich schon an der Bildverwendung Prandtls in Heidelberg, was die Wissenschaftsforscher Steve Woolgar und Michael Lynch sowie viele andere seit den 1980er Jahren herausgearbeitet haben: Bilder können entscheidend an der Konstitution naturwissenschaftlicher Phänomene beteiligt sein.³³ Wissenschaftler-innen ziehen bei ihren Argumentationen mitunter nicht nur alle Arten literarischer Mittel und zeichenbasierter Systeme heran, sondern schöpfen auch die Möglichkeiten der Bildverwendung aus. Mit Blick darauf, dass es sich bei der Wirbelbildung um einen zeitlich aufgelösten Vorgang handelt, lässt sich dennoch festhalten, dass die in Heidelberg vorgeführten Fotos als Momentaufnahmen nicht zeigen konnten, wie die Prozesse der Ablösung, der Wirbelbildung oder der Absaugung konkret vor sich gehen. In den Zwischenräumen der sequentiellen Bilder lag weiterhin ein Ozean der Vermutung, der erst Jahre später visuell gefüllt werden sollte.

Optische Aufzeichnung in der Fluidodynamik

Die alltägliche Arbeit im fluiddynamischen Labor mit seinen Wind- oder Wasserkanälen war Anfang des 20. Jahrhunderts kaum auf optische Aufzeichnungstechniken angewiesen. In der anwendungsnahen aerodynamischen Forschung waren Pitotrohre, verschiedene Mehrkomponenten-Waagen und ab Ende der 1920er Jahre Hitzedrähte die verbreitetsten Messinstrumente. Die Sichtbarmachung und Aufzeichnung der Strömungsphänomene mit Foto- oder Filmkamera war dagegen größtenteils der Grundlagenforschung vorbehalten. In dieser ging es darum, wie es Oskar Tietjens später ausdrückte, »ein Bild von dem gesamten Strömungsverlauf zu bekommen, um Kenntnis zu erhalten von der Gestalt der Stromlinien oder der Bahnlinien«.³⁴ Im Gegensatz zu den erwähnten Messgeräten, die nur an einem Punkt der Strömung messen konnten, sollten fotografische und später kinematografische Aufzeichnungen den Verlauf der Strömung festhalten. Prandtls wissenschaftliche Karriere fällt in eine Zeit, in der Fotografien und Filme vermehrt Eingang in die Hydro- und Aerodynamik fanden. Auch seine Strömungsfotografien von 1904 hatten bereits einige prominente Vorgänger, von denen wir jedoch nicht rekonstruieren konnten,

33 Für einen Überblick zum Beispiel vgl. Catelijne Coopmans et al. (Hg.), *Representation in Scientific Practice Revisited*, Cambridge, MA: MIT Press 2014; Hentschel, *Visual Cultures* (2014).

34 Oskar Tietjens, *Hydro- und Aeromechanik nach Vorlesungen von L. Prandtl. Zweiter Band: Bewegung reibender Flüssigkeiten und technische Anwendungen*, Berlin: Springer 1931, S. 281.

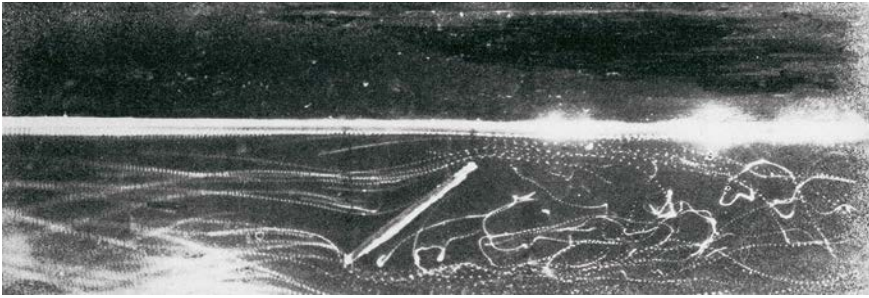


Abb. 1.4: Marey simulierte Strömungen im Wasserkanal und visualisierte sie mit »brillanten Perlen«. Die Chronofotografie zeigt die Strömung um eine um 45° geneigte Glasplatte.

ob Prandtl sie damals kannte. Um einen Eindruck von der Visualität des fluiddynamischen Feldes um 1900 zu geben, beschreiben wir im Folgenden einige dieser Vorbilder.

Am bekanntesten sind die Aufnahmen des französischen Physiologen und Kinopioniers Étienne-Jules Marey, der bei Strömungsaufnahmen in Windkanälen die Fotografie seiner berühmten grafischen Methode vorzog. Weniger bekannt ist, dass Marey seine Chronofotografie auch im Bereich der Hydrodynamik anwandte, wie er 1893 in einem Artikel mit dem sprechenden Titel *Le mouvement des liquides* beschreibt.³⁵ In seinem Wasserkanal visualisierte er die Bewegung mit »brillanten Perlen« (Abb. 1.4). Die resultierenden Fotogramme »zeigen die Flugbahn dieser Perlen in den verschiedenen Teilen der Welle und folglich die Bewegungen, die die Moleküle der Flüssigkeit selbst an diesen Punkten ausführen.«³⁶ Bereits vor Marey, in den 1880er Jahren, fotografierten die Physiker Ernst Mach und Peter Salcher Geschosse und Objekte in Windkanälen mit der Schlierenmethode.³⁷

35 Étienne-Jules Marey, »Le mouvement des liquides étudié par la chronophotographie«, in: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* 116 (1893), S. 913–924. Es gibt sehr viel Literatur zur Marey, weswegen hier nur eine Auswahl an Literatur zu seinen fluiddynamischen Experimenten genannt werden soll: Georges Didi-Huberman, Laurent Mannoni, *Mouvements de l'air: Étienne-Jules Marey, photographe des fluides*, Paris: Gallimard 2004; Inge Hinterwaldner, »Parallel Lines as Tools for Making Turbulence Visible«, in: *Representations* 124/1 (2013), S. 1–42, <https://doi.org/10.1525/rep.2013.124.1.1>; Janina Wellmann, »Seduced by form or flow? Étienne-Jules Marey's experiments on air flow dynamics«, in: *Wind Tunnel Bulletin* 9 (2019), S. 278–279.

36 Marey, »Le mouvement des liquides« (1893), S. 919, übersetzt aus dem Französischen durch die Autor:innen.

37 Christoph Hoffmann, »Superpositions: Ludwig Mach and Étienne-Jules Marey's studies in streamline photography«, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 44/1 (2013), S. 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2012.08.002>.

Konkrete Ähnlichkeiten mit den Aufnahmen Prandtls weisen hingegen die weit weniger bekannten Aufnahmen Henry Hele-Shaws auf, die dieser beim Kongress der Institution of Naval Architects 1897 präsentierte (Abb. 1.5). Er hatte die Wirbelzone hinter verschiedenen Objekten im Wasserkanal fotografiert, indem er dem Wasserstrom Luftblasen beifügte: »small particles of air, which appear when viewed by the eye as a sparkling mass, prevent the transmission of light and reveal on a screen, when a special lantern apparatus is employed, the actual behaviour of the flowing water.«³⁸ Anhand dieser Projektionen hatte Hele-Shaw Vermutungen über unterschiedliche Schichten der Strömung angestellt, die sich zumindest im Nachhinein als ein Vordenken der Grenzschicht interpretieren lassen. Später sollte Hele-Shaw für eine Visualisierungsmethode bekannt werden, die paradoxerweise die Stromlinien eines idealen Fluids fotografisch zu zeigen vermochte, auch wenn ideale Fluide in der Realität nicht vorkommen.³⁹ Zu nennen ist auch der französische Physiker Henri Bénard, der bereits 1901 in seiner Dissertation eine in der Folge nach ihm benannte Konvektionsströmung fotografierte. Später (ab 1908) nutzte er zudem auch Filmkameras zur Beobachtung verschiedener Strömungen. Unter anderem filmte er Kármán'sche Wirbelstraßen bevor Theodore von Kármán diese mathematisch beschrieb.⁴⁰ Außerdem ist hier Friedrich Ahlborn hervorzuheben, auf den wir weiter unten ausführlich eingehen werden, weil dessen Visualisierungstechniken für die Geschichte des Prandtl'schen Films von zentraler Bedeutung waren.

Unter den genannten Strömungsforschern, die mit fotografischen Techniken arbeiteten, war Prandtl insofern eine Ausnahme, als er seine Bilder mit einer neuen, auch mathematisch ausformulierbaren Theorie der Fluid-dynamik verbinden konnte. Mit anderen Worten, er vermochte es, seine Bilder selbst als theoretisch gehaltvoll zu rahmen. Zugespitzt formuliert lag der Erfolg Prandtls darin begründet, dass er mittels theoretisierten Visualisierungen zwischen zwei bis dato getrennt agierenden wissenschaftlichen

38 Henry Hele-Shaw, »The Flow of Water«, in: *Nature* 58 (1898), S. 34–36, <https://doi.org/10.1038/058034a0>.

39 Zu den Bildern Hele-Shaws vgl. Bloor, »The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl« (2008), S. 349; Fermigier, »The use of images« (2017), S. 599–600.

40 Vgl. David Aubin, »The memory of life itself: Bénard's cells and the cinematography of self-organization«, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 39/3 (2008), S. 359–369, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2008.06.007>; Henri Bénard, »Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement«, in: *Annales de Chimie et de Physique* 10/1 (1901), S. 254–266, <https://doi.org/10.1051/jphystap:0190100100025400>; Henri Bénard, »Etude cinématographique des remous et des rides produits par la translation d'un obstacle«, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 147 (1908), S. 970–972.

To Illustrate Professor H. S. Hele-Shaw's Paper: Experimental Investigation of the Nature of Surface Resistance on Ships and in Pipes.

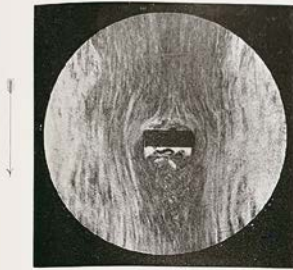


Fig. 6.

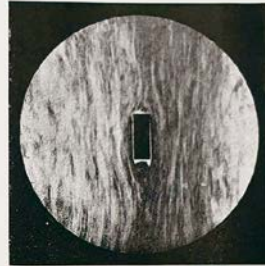


Fig. 7.

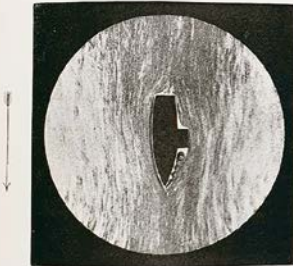


Fig. 8.



Fig. 9.

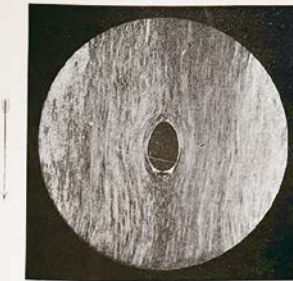


Fig. 10.

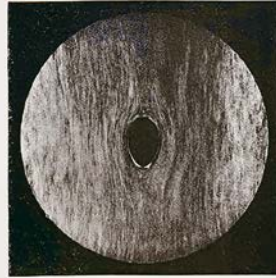


Fig. 11.

Abb. 1.5: Henry Hele-Shaw hat 1897 die Strömung um verschiedene Körper im Wasserkanal fotografiert. Als Markerpartikel dienten ihm Luftblasen. Um die umströmten Körper lässt sich eine weiße Schicht erkennen, die später als Grenzschicht interpretiert wurde.

Gemeinschaften vermittelte und dass er die Theorie idealer Fluide mit der technischen Kontrolle realer Fluide verbinden konnte. Seine Art, Wissenschaft zu betreiben, beruhte auf dem Begehren, Mathematik und Bild zu verbinden. Wie sich im weiteren Verlauf der Geschichte zeigen wird, begleitete Prandtl durch seine Karriere das Streben, immer neue, bessere Bilder zu produzieren, insbesondere von den Phänomenen, für die er mathematisch keine Formulierung finden sollte. Worauf gründete Prandtls Streben nach Visualität und welche Rolle spielten die visuellen Apparate dabei?

Prandtl und die Anschauung

Die wissenschaftlichen Erfolge Prandtls beruhten darauf, dass er sich eine »Anschauung« von den Phänomenen zu machen wusste.⁴¹ So besagt es wenigstens die Legende. Einer seiner Assistenten, Fritz Schultz-Grunow, behauptete in den 1970er Jahren, dass sich Prandtl mittels Anschauung in die Differentialgleichungen einzufühlen wusste. Prandtl selbst hatte diese Legende befeuert. In seinem autobiografischen Text »Mein Weg zu hydrodynamischen Theorien« berichtet er davon, dass Werner Heisenberg 1948 bei einer Ansprache anlässlich der Ernennung Prandtls zum Ehrenmitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft meinte, Prandtl könne den Gleichungen ansehen, welche Lösung sie hätten. Daraufhin hätte Prandtl erwidert, »daß [er] zwar diese Fähigkeit nicht hätte, daß [er sich] aber von den den Aufgaben zugrunde liegenden Dingen eine möglichst eingehende Anschauung zu verschaffen strebe und die Vorgänge zu verstehen suche.«⁴² Es ist also auch laut Prandtl die Anschauung, die es ihm ermöglichte, die Brücke zwischen Mathematik und Anwendung, zwischen idealen und realen Fluiden zu schlagen. Der voraussetzungsreiche, »typisch deutsche« Begriff der Anschauung, jener – zumindest Immanuel Kant zufolge – sinnlich-rezeptive Anteil der Erkenntnis, musste somit als erkenntnistheoretische Verbindung von Theorie und Empirie, von Begriffen und Phänomenen herhalten.⁴³

41 Jobst Broelmann, »Meister der Pirouette. Ludwig Prandtl: Wissenschaft und Alltagsphysik«, in: *Kultur & Technik* 25/2 (2001), S. 16–17, hier S. 17.

42 Ludwig Prandtl, »Mein Weg zu hydrodynamischen Theorien«, in: *Physikalische Blätter* 4 (1948), S. 89–92, hier S. 89.

43 Waltraud Naumann-Beyer, »Anschauung«, in: Karlheinz Barck et al. (Hg.), *Ästhetische Grundbegriffe*, Bd. 1, Stuttgart: J. B. Metzler 2010, S. 212; vgl. auch Bettina Papenburg, *Vitalitätseffekte. Erkenntnis und Affekt in der Medienkultur der Zellbiologie*, Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag 2023, S. 143–145. Anschauung und die Fähigkeit visueller Vorstellungskraft sind Wiedergänger in der Wissenschaftsgeschichte. Alan Rocke etwa spricht in seiner Studie

Die Bezugnahme auf Anschauung ist angesichts der disziplinären Position der Fluidodynamik zwischen Wissenschaft und Technik wenig überraschend. Der Technologiehistoriker Steven Lubar hat herausgearbeitet, dass Ingenieur·innen immer wieder auf ihr visuelles Denken rekurriert haben.⁴⁴ Und auch in der Technikgeschichtsschreibung seit den 1970er Jahren ist es ein beliebter Topos, Technologie als ein einzigartiges, dreidimensionales visuelles Denken zu beschreiben. So hätten sich Edison, die Gebrüder Wright und viele andere auf ihr geistiges Auge (»mind's eye«) verlassen können.⁴⁵

Inwieweit aber trägt der Rekurs auf die Fähigkeit zur Anschauung zu einem Verständnis der Prandtl'schen Arbeitsweise und seiner Theorien bei? Es scheint so, als wäre Anschauung bei Prandtl und seinen Lobrednern nicht im empirischen Sinne (von Hinsehen und Verstehen), sondern im – von Kant eingebrachten – »reinen« Sinne (als Ideenschau) gemeint gewesen. Nur den Ideen wird in Übernahme einer platonischen Epistemologie der Stellenwert zugewiesen, Wahrheit offenbaren zu können. Weiter ließe sich interpretieren, dass auch die Bilderskepsis der jüdisch-christlichen Denktradition in den Bekundungen der Prandtl'schen Fähigkeit zur Anschauung widerhallt: Konkrete Bilder würden (wie das Goldene Kalb) zur Idolatrie führen. Nur die Ideen im genialen Geist des Wissenschaftlers konnten Anspruch auf Universalität erheben. Bilder wie Fotografien hingegen waren immer nur spezifisch, kontingent und lokal gültig.

Schlicht zu behaupten, Prandtl habe eine besondere, individuelle Fähigkeit zur Anschauung gehabt, hilft beim Versuch, besser zu verstehen, wie er zu seinen Erkenntnissen gekommen ist, wenig weiter; die Behauptung verschleiert mehr als sie erklärt. Die Frage bleibt ja, worauf das Anschauungsvermögen Prandtls beruhte. Wie konnte Prandtl Strömungen und Gleichungen

zur Rolle der Vorstellungskraft in der organischen Chemie des 19. Jahrhunderts – sowie in Übernahme eines Wortspiels des Philosophen Colin McGinn – von »image-ination«, definiert als »the ability to form and manipulate mental images that are not directly connected to visual perception itself« (Alan J. Rocke, *Image & Reality. Kekulé, Kopp, and the Scientific Imagination*, Chicago: University of Chicago Press 2010, S. 324).

44 Steven Lubar, »Representation and Power«, in: *Technology and Culture* 36/2 (1995), S. 54–81, hier S. 55–56, <https://doi.org/10.2307/3106690>.

45 Reese Jenkins, »Elements of Style: Continuities in Edison's Thinking«, in: *Annals of the New York Academy of Sciences* 424 (1984), S. 149–162, <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb23499.x>; Peter L. Jakab, *Visions of a Flying Machine: The Wright Brothers and the Process of Invention*, Washington, DC: Smithsonian Books 1990, S. 81–82; W. Bernard Carlson, Michael E. Gorman, »Understanding Invention as a Cognitive Process: The Case of Thomas Edison and Early Motion Pictures, 1888–91«, in: *Social Studies of Science* 20 (1990), S. 387–430; Steven Lubar, »Culture and Technological Design in the 19th-Century Pin Industry: John Howe and the Howe Manufacturing Company«, in: *Technology and Culture* 28/2 (1987), S. 253–282.

sehen? Aus welcher Perspektive? Wie konnten andere Prandtls Strömungen und Theorien sehen? Was konnten sie dabei nicht sehen? Und wer konnte oder durfte das Angesehene theoretisch interpretieren? Anders gesagt, der Rekurs auf Anschauungen macht die epistemische Arbeit unsichtbar, die die Bilder für Prandtl leisteten.

Unsere Vermutung ist, dass das Prandtl'sche Vermögen, die Formeln der Strömungen zu sehen und sie dann für andere sichtbar zu machen, mit den von ihm angewandten Methoden der optischen Aufzeichnung und Projektion von Strömungen zusammenhängt. Das betrifft einerseits die verwendeten Apparate, die berühmten »prothetischen Technologien an der Schnittstelle zu unseren biologischen Augen und Gehirnen.«⁴⁶ Es betrifft aber auch die konkreten, mit diesen Apparaten produzierten Bilder sowie ihr konkreter Einsatz und ihre Verfügbarkeit. Wir stellen daher sowohl die »Prothesen« des Sehens als auch die Ereignisse, in denen Prandtl im Zusammenspiel mit den Apparaten etwas sehen lassen wollte, ins Zentrum unserer Analyse. Dabei hoffen wir aber nicht auf einen alternativen, über Bilder funktionierenden Zugang zum universellen Reich der Ideen. Stattdessen wollen wir in der Spezifik und Lokalität dieser Bildtechnologien Hinweise darauf finden, wie die Realität jener Phänomene stabilisiert wurde, die die Bewegungs- und Kriegstechnologien des 20. Jahrhundert mit zu verantworten haben.

Eine Schilderung der visuellen Arbeitsweise Prandtls von seinem Doktoranden, Assistenten, Freund und Mit-Filmmacher Oskar Tietjens soll die von uns angestrebte Neuperspektivierung verdeutlichen, weg von den Augen des Geistes hin zu den visuellen Technologien.⁴⁷ Tietjens schickte seinem 1960 erschienenen Lehrbuch *Strömungslehre* eine Hymne auf seinen Lehrer voraus. Auch diese beginnt zwar mit der Anschauung, mit Prandtls Fähigkeit zum Formelsehen, endet aber mit den konkreten Beobachtungen am Wasserkanal:

46 Donna Haraway, »Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective«, in: *Feminist Studies* 14/3 (1988), S. 575–599, hier S. 589; zur Karriere der Figur des Prothesengottes seit dem 19. Jahrhundert vgl. Christoph Hoffmann, *Unter Beobachtung. Naturforschung in der Zeit der Sinnesapparate*, Göttingen: Wallstein 2006, S. 268–270.

47 Zur Re-perspektivierung vgl. Barbara Duden und Ivan Illich: »Viel wurde bereits zum inneren Auge, den Herzensaugen oder den Augen des Geistes geschrieben. In diesen Zeilen beschränken wir uns, soweit wie möglich, auf ein Tun des körperlichen Auges.« (Barbara Duden, Ivan Illich, »Die skopische Vergangenheit Europas und die Ethik der Opsis: Plädoyer für eine Geschichte des Blickes und Blickens«, in: *Historische Anthropologie* 3/2 (1995), S. 203–221, hier 204.)

Prandtl hatte eine außergewöhnliche Fähigkeit, sich physikalische Zusammenhänge und insbesondere Strömungsvorgänge anschaulich klarzumachen. Das so erhaltene Gedankenbild, das sich nicht nur auf die Problemstellung, sondern vielfach auch auf die Durchführung der Rechnung erstreckte, war bei ihm immer das Primäre und die mathematische Formulierung als der Ausdruck dessen, was er innerlich geschaut hatte, das Sekundäre. Diese so ausgeprägte Eigenart Prandtls hängt eng mit seiner Neigung zusammen, Strömungsvorgänge – wo immer es nur möglich ist – *sichtbar zu machen* und zu studieren. Ich erinnere mich noch der vielen Stunden, meistens nach den Vorlesungen Prandtls, wenn er im damaligen Institut für Angewandte Mechanik am Leinekanal in Göttingen immer und immer wieder Strömungen im Wassertank *beobachtete* und dabei häufig genug Ort und Zeit vergaß. Auch war es seine Art, sich von seinen Überlegungen und Rechnungen selbst den Zwischenrechnungen – Zeichnungen und Skizzen zu machen, um seine Anschauung, z. B. von dem Stromlinienverlauf, zu stützen oder, wenn nötig, zu korrigieren.⁴⁸

Bemerkenswert bei Tietjens ist, dass er in seinem Lehrbuch das angesprochene Hierarchieverhältnis zwischen Bild und Mathematik umdreht. Er macht letztlich die stundenlangen Beobachtungen der Strömungen am Wasserkanal, die sich durch keinerlei Quellen unmittelbar rekonstruieren lassen, für Anschauung, Idee und Wissen verantwortlich. Wir folgen Tietjens, der mit dieser Beschreibung sicherlich auch seinen eigenen Anteil am Erfolg Prandtls unterstreichen wollte, in dieser Bewegung hin zu den materiellen Bedingungen der Gedankenbilder.⁴⁹ Und wir gehen den Weg noch weiter zu den Aufzeichnungsapparaten und in sie hinein sowie zu den zahlreichen Wiederaufführungen des Aufgezeichneten, mit denen viele andere an den Beobachtungen Prandtls Anteil haben konnten. Uns interessiert das Zusammenwirken von Bild (Sicht- und unsichtbare Strömung), Idee (Theorie), Medium (Kamera, Projektor und Film), Experiment (Wasserkanal) und Person (Prandtl). Wir gehen also davon aus, dass der Anschauung respektive dem Gedankenbild verschiedene Praktiken des Visualisierens und Visionierens vorangehen: das Zeichnen und Aufzeichnen, Kritzeln und Beobachten.

⁴⁸ Oskar Tietjens, *Strömungslehre. Erster Band: Physikalische Grundlagen vom technischen Standpunkt*, Berlin: Springer 1960, S. VIII. Hervorhebung durch die Autor:innen.

⁴⁹ Der Begriff des Gedankenbildes zielt im Kern auf die (ideelle) Anschauung und kommt dem englischen *image* nahe. Vom konkreten, materiellen Bild im Sinne von *picture* ist bei Tietjens dabei zunächst keine Rede. Zur Unterscheidung von *image* und *picture* auch kritisch: Wolfram Pichler, Ralph Ubl, *Bildtheorie zur Einführung*, Hamburg: Junius 2018, S. 116–117.

Die Haltung zu Bildern in den Wissenschaften ist oftmals paradox. Auch in der Fluidodynamik wurde die Wichtigkeit der Visualisierung für die Disziplin immer wieder betont (Eckert, Fermigier, Bloor), eine konkrete epistemische Rolle wurde ihnen aber selten zugestanden. Um ihre Rolle epistemologisch etwas genauer zu bestimmen, lohnt es sich daher zu eruieren, warum ihnen ein entscheidender Beitrag abgesprochen wurde. Nehmen wir zum Beispiel David Bloor. Auch er ist der Rolle der in Heidelberg gezeigten Fotografien Prandtls nachgegangen. Bloor stellt die Frage, welcher Art das Wissen ist »that can be gained by rendering fluid flows visible and amenable to photographic recording.«⁵⁰ In seiner Antwort auf diese Frage, die unserer Frage nach dem Status der kinematografischen Bilder ähnelt, verwirft er letztlich, anders als wir, die Idee, dass die Bilder eine zentrale Rolle gespielt haben könnten. Bloor führt die Fotos zwar als mögliche Belege für die (ontologische) Behauptung einer Grenzschicht ein, schlussfolgert aber, dass die Bilder letztlich offen für verschiedene Interpretationen gewesen seien. Daher hätten sie die Zeitgenossen auch nicht – oder nicht auf zwingende Weise – überzeugen können. Nur die Eindeutigkeit der Formelsprache konnte überzeugen.

Diese (Ab-)Qualifikation der Rolle von Bildern in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung entspricht Bloors erkenntnistheoretischer Position. Im Sinne der sozialen Erklärungen, nach denen das von Bloor mitbegründete *strong programme* strebte, stellten auch die Fotos von 1904 eben nur für all diejenigen Wissenschaftler:innen Fotos von der Grenzschicht dar, die dieses Konzept bereits akzeptiert hatten. Also nur für diejenigen, die Teil der Göttinger Community und der Schule Prandtls waren. Die anderen aber, die nicht darin geschult worden waren, ihre wissenschaftlichen Probleme mittels der Grenzschicht zu lösen, sahen in den Fotos etwas anderes. Mit anderen Worten: Die Fotos predigten nur den bereits Bekehrten. Für diese galt dann: »It followed that, if the reality could be photographed, then the photographs would be photographs of the boundary layer.«⁵¹ Bloors Interpretation zufolge sind die Bilder rein empirische und folglich eher schmückende Anhängsel der entscheidenden wissenschaftlichen Argumentation. In seinem Buch zur Geschichte der Tragflügeltheorie schreibt er: »Prandtl may have been able

50 Bloor, »The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl« (2008), S. 350. Er geht darin auf die in Heidelberg gezeigten Bilder, nicht aber auf andere Bilder Prandtls oder den Film ein. Ganz ohne auf Bilder einzugehen argumentierte Bloor noch 2003: David Bloor, »Skepticism and the Social Construction of Science and Technology: The Case of the Boundary Layer«, in: Steven Luper (Hg.), *The Sceptics: Contemporary Essays*, Aldershot: Ashgate 2003, S. 249–265.

51 Bloor, »The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl« (2008), S. 357.

to offer ›beautiful photographs,‹ but that only meant that the analysis was still confined to the empirical level.«⁵²

Als Beleg für die Interpretationsoffenheit und letztlich Folgenlosigkeit der Bilder führt Bloor den Streit zwischen Prandtl und Friedrich Ahlborn an. Zwischen Ahlborn und Prandtl entsponn sich in den 1920er Jahren (also lange nach dem Heidelberger Vortrag) eine Fehde, in der es nicht nur um die besten Visualisierungsmethoden, sondern auch um deren theoretische Deutung ging. Ahlborn wandte sich gegen die Grenzschichttheorie und gegen die Prandtl'sche Erklärung der Strömungsablösung mit darauffolgender Wirbelbildung. Er tat dies, indem er einerseits die Aufnahmetechniken wie auch die konkreten Aufnahmen Prandtls kritisierte und andererseits die von ihm selbst angefertigten fotografischen Aufnahmen anführte. Insbesondere attackierte Ahlborn die Hypothese, dass die Vorgänge in der Grenzschicht der Grund für die Wirbelbildung waren. Es könne schlicht keine »rückfließende Bewegung in den Grenzschichten« geben, weil die Schubkräfte der Reibung die Grenzschichten zwingen würden, »die Bewegungen der äußeren Flüssigkeit mitzumachen.«⁵³ Überhaupt, so Ahlborn, sei die Grenzschicht keine Entität, die irgendetwas tue, sondern bloß eine theoretische Annahme, weswegen sie auch nicht weggesaugt werden könne. Ihm zufolge waren dagegen zahlreiche Wirbel der Grund für das Verhalten der Grenzschicht, die »in schneller Folge und auf ganz andere Weise« entstehen. In seiner Argumentation kritisierte er an Prandtls Verfahren zur Herstellung der in Heidelberg gezeigten Fotografien konkret die in ihnen sichtbare »Turbulenz der Gesamtströmung und die Darstellung der Bewegung durch Schlierenstreifen, statt durch Stromlinien«. Und er führte zahlreiche von ihm angefertigte fotografische Aufzeichnungen als Gegenbeweise an, bei »denen die Mängel des Prandtlschen Verfahrens vermieden« wurden.⁵⁴

Bloor reinterpretiert den Bilderstreit als »veritable culture clash between qualitative and quantitative traditions«⁵⁵ und führt die unterschiedlichen Bilddeutungen darauf zurück, dass Ahlborn nicht Teil des Göttinger Denkkollektivs war. Ahlborn war weder Ingenieur noch Physiker oder Mathematiker, sondern ausgebildeter Zoologe, der als Lehrer und Gymnasialprofessor an einem Hamburger Gymnasium zur Strömungslehre fand. Seine Faszination für den Vogelflug oder für die Flossenbewegungen von Fischen brachte

52 Bloor, *Enigma of the Aerofoil* (2011), S. 393.

53 Friedrich Ahlborn, »Die Ablösungstheorie der Grenzschichten und die Wirbelbildung«, in: *Jahrbuch der wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1927 (1927), S. 171–188, hier S. 172.

54 Ebd., S. 172–173.

55 Bloor, »The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl« (2008), S. 356.

ihn auf die Idee, diese Bewegungen zu visualisieren.⁵⁶ Im »Zoologischen Kabinett« seines Gymnasiums konstruierte er um die Jahrhundertwende einen zwei Meter und einen sechs Meter langen Versuchskanal. Beide waren technisch weitaus avancierter als der Kanal, mit dem Prandtl seine Fotos für Heidelberg anfertigte. Ahlborn erlangte für seine Aufnahmen von Wirbelbildungen einiges Ansehen in der damals noch sehr interdisziplinären Gemeinschaft der Strömungsforschenden, obwohl er derartige Versuche nur abseits seiner Lehrverpflichtungen als Gymnasiallehrer durchführen konnte. Im Zuge der Professionalisierung der Strömungsforschung wurde Ahlborn jedoch zunehmend zu einem Außenseiter in der jungen Disziplin. Zwar durfte er während des Ersten Weltkriegs eine eigene hydrodynamische Versuchseinrichtung – die »Abteilung Ahlborn« – in der kriegswichtigen Flugzeugmeisterei in Berlin Adlershof aufbauen. Die Flugzeugmeisterei wurde nach dem Krieg allerdings aufgelöst. Der dort konstruierte 20 Meter lange Wasserkanal für fotografische Strömungsaufzeichnungen gelangte an die Technische Hochschule nach Aachen (Abb. 1.6). Ahlborn forschte weiter, ohne institutionelle Anbindung, nur unterstützt von seinem Sohn und dem Hamburger Hydrodynamiker Walther Lohmann. Genau dieser prekäre disziplinäre und institutionelle Status Ahlborns war Bloor zufolge der soziale und folglich entscheidende Hintergrund für Ahlborns wiederkehrende Angriffe auf die visuellen Evidenzen, die Prandtl präsentierte. Entscheidend für Bloor ist also nur, ob die Bilder im Sinne der gegenwärtig geltenden Paradigmen der jeweils lokal einflussreichen wissenschaftlichen Gemeinschaft interpretiert werden konnten. Den Bildern selbst billigt Bloor keine entscheidende Rolle in der Entwicklung fluiddynamischer Theorien zu.⁵⁷

Anders als bei Bloor dient uns der Streit zwischen Ahlborn und Prandtl im Folgenden geradezu als Beleg dafür, dass Bilder entscheidend für den Verlauf der wissenschaftlichen Forschung sein und zudem auch in wissenschaftlichen Auseinandersetzungen überzeugen können. Zwar erlauben Bilder immer unterschiedliche Interpretationen, daraus lässt sich aber nicht schlussfolgern,

56 Zu Ahlborns Biografie vgl. Johannes Georgi, »Professor Dr. Fritz Ahlborn, ein vergessener Pionier der Strömungsforschung«, in: *Abhandlungen und Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg* 11 (1957), S. 5–18, hier S. 5–7; vgl. auch Michael Eckert, »Wie entstehen Wirbel? Strömungsforscher im Streit um Theorie und Wirklichkeit«, in: *Kultur & Technik* 2 (2006), S. 48–54, hier S. 49–50.

57 Für eine Kritik an Bloors sozialkonstruktivistischen Ansatz vgl. Bruno Latour, »For David Bloor ...and beyond: a reply to David Bloor's Anti-Latour«, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 30/1 (1999), S. 113–129, [https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(98)00039-9). In Paraphrase der Kritik von Latour scheint es auch uns so zu sein, als würde Bloor mit seinem Text sagen wollen: Pictures »are never enough: underdetermination is their only way of impinging on our beliefs.« (Latour, »For David Bloor« (1999), S. 117.)

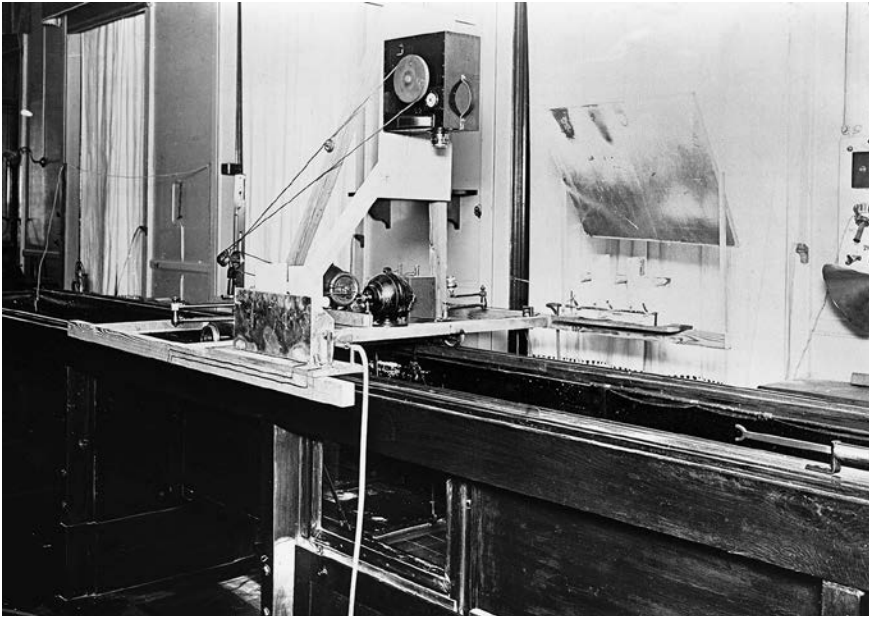


Abb. 1.6: Friedrich Ahlborns Versuchskanal in der Flugzeugmeisterei in Berlin Adlershof, ca. 1915. Zu sehen ist der experimentelle Aufbau, der es ermöglichte, Objekt sowie Serienbild-Fotokamera gleichzeitig durch das Wasser zu ziehen.

dass sie im Kontext konkurrierender wissenschaftlicher Ansätze vernachlässigbar wären. Es wäre zu einfach, die differierende Lesart der von Prandtl und Ahlborn produzierten Bilder schlicht auf ein inkompatibles Paradigma, auf verschiedene wissenschaftliche Karrieren oder Interessen zurückzuführen. Wie wir im Folgenden argumentieren werden, war die Bildproduktion der beiden vielmehr sowohl mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit als auch mit ihrer Beziehung untrennbar verbunden. Das Visuelle, das Epistemische und das Soziale entstanden in konstantem Wechselspiel miteinander.

Um den Einfluss der Bilder in diesem Streit erkennen zu können, braucht es ein anderes Verständnis dessen, was ein wissenschaftliches Bild ist. Es ist nicht etwas, was einfach da ist und darauf wartet, so oder anders interpretiert zu werden. Es wird dagegen unter Aufwendung enormer Ressourcen und mit sich wandelnden Apparaten und Techniken produziert. Es wird immer wieder überarbeitet und es begleitet den wissenschaftlichen Prozess als Ansporn, Faszinosum oder Irritation. Es folgt meist auf ein vorheriges Bild, das Ähnliches zeigen sollte, und es bereitet ein nächstes Bild vor. Es ist Austauschgut in der wissenschaftlichen Gemeinschaft und Begleiter der wissenschaftlichen

Persona. Die Bilder Prandtls und Ahlborns haben zunächst die Freundschaft der beiden Männer befördert, später aber wohl auch ihren Dissens befeuert. Ahlborn nahm an den in Heidelberg gezeigten Fotos von Prandtl Anstoß, andere wiederum lobte er sogar, kritisierte aber Prandtls Deutung. An dem Bilderstreit zwischen Prandtl und Ahlborn zeigt sich ganz im Sinne Bloors, wie soziale Interessen die Interpretation wissenschaftlicher Bilder präfigurieren. Zugleich aber wird über Bloors Theoretisierung hinausgehend deutlich, wie eng die Arbeit an den Visualisierungen mit den sozialen Beziehungen verknüpft ist, die die Interpretation der Bilder begleiten und die Praxis der Wissenschaft mit anleiten. Konkurrenz, Kooperation, Neid oder Freundschaft bestehen nicht unabhängig von den Bildern, genauso wenig wie die Grenzschrift und ihre theoretische Ausdeutung nicht unabhängig von den jeweils von ihr produzierten Bildern waren.

Speziell die Kinematografie liefert einen Schlüssel zu diesem Streit der beiden Wissenschaftler, sowie der Streit wiederum einen Schlüssel zur Verwendung der Kinematografie bei Prandtl an die Hand gibt. Es wird sich zeigen, dass Prandtls Film ohne die Ahlborn'schen Visualisierungen nicht denkbar gewesen wäre und Prandtl mit seinem Film die Ahlborn'schen Kritikpunkte entkräften wollte. Teile des Films sollten zum Beispiel ebenjenes Rückfließen in der Grenzschrift ins Bild fassen, das laut Ahlborn nur eine theoretische Annahme war und sich nicht beobachten ließe, und für das Prandtl keine mathematische Formulierung angeben konnte.

Friedrich Ahlborns Bilder als Vorbilder

Prandtl begann zwischen 1911 und 1912 mit Film zu experimentieren. In einem Tätigkeitsbericht über seine Göttinger Modellversuchsanstalt spricht er erstmals von Versuchen mit einem Kinematografen: »So werden hier an einer kleinen Modellschleppleinrichtung mittels Photographie und Kine-matographie Versuche über die Strömungsformen bei der Bewegung von Körpern durchgeführt.«⁵⁸ Außerdem schreibt er: »Weiter werden Versuche über die Luftkräfte beim Bewegungsbeginn mittels einer kinematographischen Methode gemacht.« Im Bericht abgedruckt sind dann allerdings nur die Fotografien einer Plattenkamera, keine Einzelbilder aus den kinemato-graphischen Aufnahmen (Abb. 1.7). Die Fotografien zeigen die Wirbelbildung

⁵⁸ Ludwig Prandtl, »Bericht über die Göttinger Modellversuchsanstalt«, in: Ders., *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer 1961, S. 1263–1270, hier S. 1267 (ursprünglich abgedruckt im *Jahrbuch der Motorluftschiff-Studiengesellschaft* 1912–1913, S. 73–81).



Abb. 3

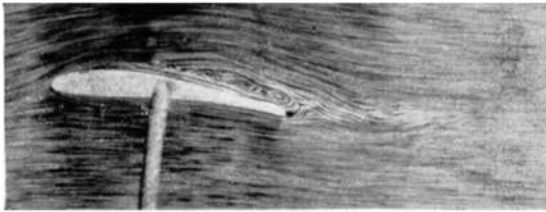


Abb. 4



Abb. 5

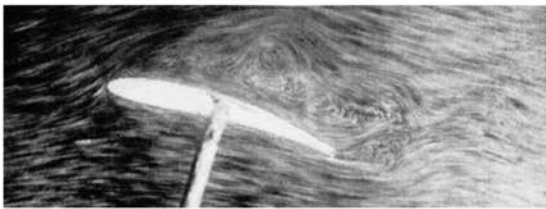


Abb. 6



Abb. 7

Abb. 1.7: Strömungsaufnahmen um einen Tragflügel bei verschiedenen Anstellwinkeln, angefertigt nach der Ahlborn'schen Methode, ca. 1912. Obwohl Prandtl zu dieser Zeit mit dem Kinematografen experimentierte, nutzte er in Veröffentlichungen nur Fotografien wie diese.

an Tragflächen bei verschiedenen Anstellwinkeln. Wahrscheinlich standen die Versuche in Zusammenhang mit Prandtls Überlegungen zur Tragflügeltheorie, die er in dieser Zeit entwickelte. Just ein Jahr zuvor hatte er erste Gedanken dazu veröffentlicht, wobei von einer ausgearbeiteten Theorie noch nicht die Rede sein konnte. Eine solche sollte er erst nach dem Ersten Weltkrieg publizieren, nachdem kriegsbedingte Geheimhaltungsvorschriften wegfielen.⁵⁹ Welchen Anteil die Filmaufnahmen konkret an der Ausformulierung der Theorie hatten, lässt sich aber aus den erhaltenen Quellen nicht eruieren.⁶⁰

Das Jahr, in dem der Bericht veröffentlicht wurde, gibt einen Hinweis darauf, was Prandtl überhaupt dazu bewogen hat, sich der Kinematografie zu widmen. Denn er begann erst mit Film zu experimentieren, nachdem er die Strömungsfilme Ahlborns gesehen und für sein Institut erworben hatte. Auch die veröffentlichten Versuchsfotos zur Wirbelbildung an Tragflächen verweisen auf den Einfluss Ahlborns. Sie unterschieden sich in ihrer Produktion und in ihrer Ästhetik fundamental von den Fotogrammen, die Prandtl in Hannover gemacht und in Heidelberg gezeigt hatte. Sie waren mittels der (später sogenannten) Ahlborn'schen Methode zur Visualisierung der Strömung aufgenommen worden. Von dieser Methode sollten Prandtl und seine Mitarbeitenden in den kommenden Jahrzehnten immer wieder Gebrauch machen, so auch bei der Erstellung des Strömungsfilms. Vermutlich, weil die Aufnahmen Ahlborns in puncto Präzision, Klarheit und Nachvollziehbarkeit den in Heidelberg präsentierten Fotos Prandtls überlegen waren.

Ahlborn hatte seit 1900 Strömungserscheinungen mit einer auf Schienen über einem Wassertrog bewegten Kamera fotografiert. Das Strömungshindernis wurde dabei mit der Kamera mitgeführt und in das mit »Hexenmehl« (Bärlappsporen) bestreute Wasser getaucht (siehe auch Abb. 1.6).⁶¹ Anders als bei Prandtls erstem Wasserkanal wurde hier also nicht das Wasser in

59 Zur Publikationsgeschichte der Tragflügeltheorie vgl. Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 84–87; zur Historiographie der Theorie vgl. Eckert, *Dawn of Fluid Dynamics* (2006).

60 Wenngleich sich argumentieren ließe, dass die Bilder insofern einen Einfluss auf die Herleitung der Tragflügeltheorie hatten, als dass sie die empirische Grundlage lieferten für einige Komplexitätsreduktionen der Navier-Stokes-Gleichungen, ohne die sich die Tragflügeltheorie nicht hätte formulieren lassen. Insbesondere die Annahme einer hufeisenförmigen Wirbelschleppe an den Enden der Tragflügel kann als durch die Visualisierung gestützt angesehen werden. Im späteren Film Prandtls waren zentrale Teile insbesondere dem Entstehen und Vergehen dieses sich stromabwärts fortsetzenden Wirbelsystems gewidmet.

61 Friedrich Ahlborn, »Hydrodynamische Experimentaluntersuchungen«, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft* (1904), S. 417–453, hier S. 420; vgl. ausführlich zu den Visualisierungen Ahlborns: Inge Hinterwaldner, »Model building with wind and water: Friedrich

Bewegung gesetzt, sondern der Körper durch das Wasser geschleppt. Ahlborn hatte sich nach eigenen Aussagen von den Schleppversuchen des englischen Ingenieurs William Froude inspirieren lassen, in dessen Zuhause mit Unterstützung der britischen Admiralität das erste Versuchsbecken für Widerstandsmessungen von Schiffsmodellen gebaut wurde.⁶² Dank der aus dem Schiffsbau übernommenen Schleppeinrichtung konnte Ahlborn vermeiden, dass die Strömung schon vor ihrem Auftreffen auf die Hindernisse turbulent wurde und an den Wannenrändern unerwünschte Turbulenzen produziert wurden. Zudem benutzte Ahlborn Bärappsporen, die er entölte, um deren Spreizeffekt zu verringern, statt des von Prandtl verwendeten Eisenglimmers. Während Eisenglimmer bei entsprechender Beleuchtung alle Deformierungen des Wassers, also insbesondere die verwirbelten Regionen, mit einem Glanz versieht, zeichnet sich die Bewegung der einzelnen Bärappsporen während der Belichtungszeit der foto- oder kinematografischen Aufnahme als Linie ab.⁶³ Nicht »Schlierenstreifen«, wie Ahlborn es dann später kritisieren sollte, sondern »Stromlinien« erscheinen in der Silberschicht (Abb. 1.8).

Ahlborn produzierte seit 1903 auch Filme mit seiner Versuchseinrichtung.⁶⁴ Vermutlich führte er diese erstmals im November 1903 auf der fünften Hauptversammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft in der Aula der Technischen Hochschule zu Charlottenburg vor. Der Bericht zur Versammlung hob die Filmaufnahmen mit den Worten heraus: »Die von dem Redner in seinem Vortrage eingestreuten Lichtbilder und kinematischen Vorführungen trugen ihm mehrere Male allseitigen und lebhaften Beifall ein.«⁶⁵ Die von Ahlborn in seinem Vortrag adressierten Forschungsfragen überschnitten sich teilweise mit denen, für die Prandtl in seinen Fotografien zum Heidelberger Vortrag eine Antwort suchte. Auch Ahlborn widmete sich der Strömungsablösung von einer festen Oberfläche und der Wirbelbildung hinter verschiedenen Objekten.

Ahlborn zeigte kinematografische Aufnahmen von dynamischen Vorgängen um eine querstehende Platte – also von just jenem Phänomen, mit dem

Ahlborn's photo-optical flow analysis«, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 49 (2015), S. 1–17, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2014.10.003>.

62 Ebd., S. 2; außerdem zu Froude und Ahlborn vgl. Hans Rothe, *Der Widerstand und Antrieb von Schiffen*, Berlin: M. Krayn 1912, S. 85–94.

63 Zu diesen unterschiedlichen Versuchsaufbauten vgl. Tietjens, *Hydro- und Aeromechanik* (1931), S. 288–290.

64 Die Filme Ahlborns sind bis dato verschollen. Wir konnten sie bei unseren Archivrecherchen nicht finden.

65 Anonym, »Bericht über die V. ordentliche Hauptversammlung«, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft* 5 (1904), S. 57–62, hier S. 61.

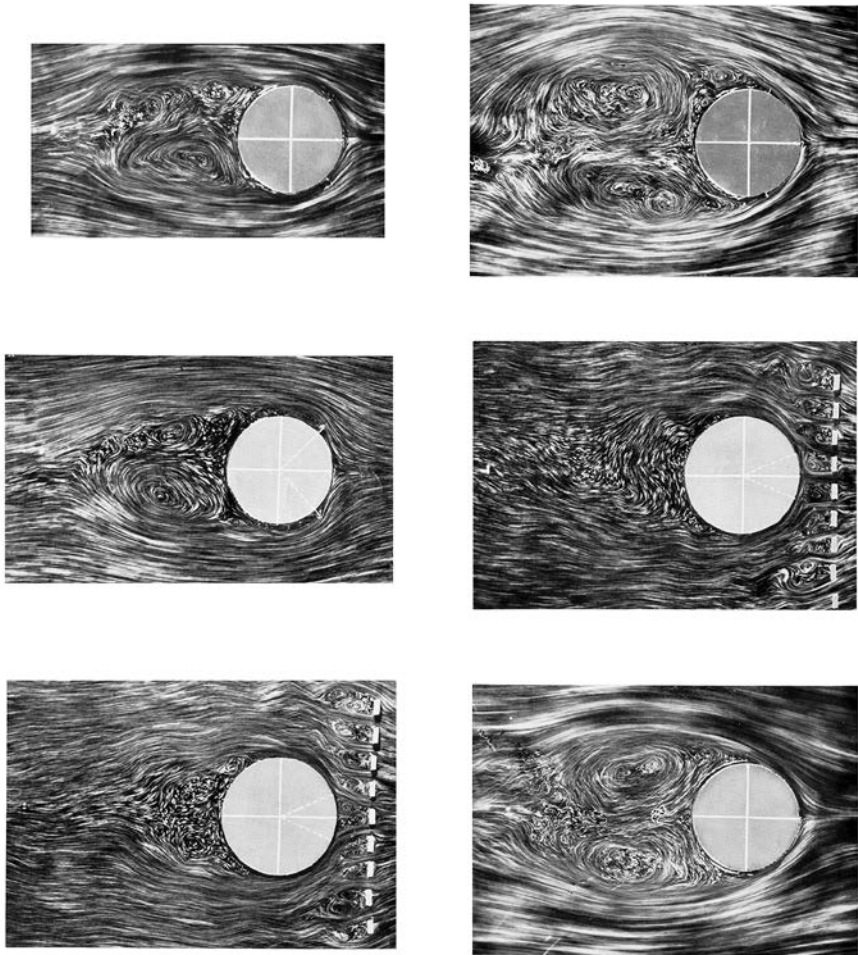


Abb. 1.8: Ahlborn fertigte im Laufe seiner Karriere zahlreiche Strömungsaufnahmen an, die für ihren Detailreichtum und ihre Klarheit bekannt wurden. Er verwendete Bärlappsporen als Markerpartikel und möglichst große Fotoplatten, um die Qualität der Aufnahmen zu optimieren.

später auch die ersten Versionen von Prandtls Film beginnen sollten.⁶⁶ Es ist hier auch deswegen bemerkenswert, dass Prandtls Film so beginnen wird, weil die querstehende Platte eher ungeeignet ist, um die Theorie Prandtls zu verdeutlichen. An der Strömung um eine Platte zeigt sich eben gerade nicht die Ansammlung des Grenzschichtmaterials und die Rückströmung

⁶⁶ Ebd.

in der Grenzschicht, die Prandtl zufolge zur Wirbelbildung führt. Den Film so zu beginnen, lässt sich folglich als Rückbezug oder gar als Reminiszenz auf Ahlborn verstehen, von dem Prandtl die Visualisierungsmethode übernommen hatte. In den späteren Versionen des Films sollte diese Szene – vermutlich aufgrund ihres als gering erachteten inhaltlichen oder didaktischen Bezugs zur Grenzschicht- oder Tragflügeltheorie – dann jedoch verschwinden.

Prandtl sah Ahlborns Filme höchstwahrscheinlich erstmals im Dezember 1909 bei einem Vortrag in Göttingen.⁶⁷ Und dieses Erlebnis schien ihn nicht mehr losgelassen zu haben. Er fand in den Filmen Ahlborns einiges, was seine Fotografien nicht boten: Stromlinien, höhere Auflösung und Genauigkeit, scharfe Kontraste und nicht zuletzt überhaupt bewegte Bilder. Noch 1909, kurz nachdem Prandtl erstmals die Filme Ahlborns gesehen hatte, unterstützte Prandtl den Finanzierungsantrag Ahlborns für ein hydrodynamisches Labor in Hamburg mit einem Empfehlungsschreiben, in dem er die Bedeutung von Ahlborns Visualisierungen hervorhob.⁶⁸ 1911 bat Prandtl Ahlborn, die Filme auf einer von Prandtl initiierten Versammlung von Vertretern der Flugwissenschaft in Göttingen vorzuführen. Dort kommentierte Prandtl die Filme entsprechend seiner eigenen Theorie der Wirbelbildung, ohne dass Ahlborn dies hier gestört oder er explizite Kritik artikuliert hätte.⁶⁹

In der Folge übernahm Prandtl Ahlborns Visualisierungstechnik, indem er seinen »hydrodynamischen Universalapparat«, der seit 1906 im neugegründeten Institut für angewandte Mathematik und Mechanik in Göttingen aufgestellt war, nach Ahlborn'scher Art mit einer auf Schienen fahrbaren Kamera umbauen ließ.⁷⁰ Dieser Umbau manifestierte sich in den Fotografien der umströmten Tragflächen von 1912. 1913 veröffentlichte Prandtl dann weitere Fotos von umströmten Zylindern, die von seinem Doktoranden Hans Ludwig Rubach aufgenommen wurden, in einem Überblicksartikel zu Flüssigkeitsbewegungen im *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*.⁷¹ Die

67 Eckert, *Dawn of Fluid Dynamics* (2006), S. 40.

68 Ebd., S. 40–41.

69 Friedrich Ahlborn, »Demonstration einiger kinematografischer Aufnahmen von Flüssigkeitsbewegungen«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 3/3 (1912), S. 32–33.

70 Für den »Universalapparat« im Institut an der Prinzenstraße vor dem Umbau vgl. Ludwig Prandtl, Carl Runge, »Das Institut für angewandte Mathematik und Mechanik«, in: Ludwig Prandtl, *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer (1961), S. 1187–1203, hier S. 1199; Karl Hiemenz, *Die Grenzschicht an einem in den gleichförmigen Flüssigkeitsstrom eingetauchten geraden Kreiszylinder*, Dissertationsschrift, Berlin 1911, S. 4–6. Das Prinzip dieses Apparats bestand noch darin analog zu Prandtls Windkanal die Wasserströmung mittels Gleichrichtern zu laminarisieren.

71 Ludwig Prandtl, »Flüssigkeitsbewegungen«, in: *Handwörterbuch der Naturwissenschaften Band 4* (1913), S. 101–140, hier S. 117–119; zum Umbau mit Schienenvorrichtung für Kamera

Fotos dienten Prandtl wiederum zur Veranschaulichung des Ablösungsvorgangs der Grenzschicht, wie neun Jahre zuvor schon die Heidelberger Fotografien. An dem Artikel ist auch zu sehen, wie Prandtl die Beschreibung des Ablösungsvorgangs begrifflich ausbaute – parallel zur Weiterentwicklung der Visualisierungstechniken. Konkret spricht er nicht mehr davon, dass sich eine rotierende Flüssigkeitsschicht in die freie Strömung hinausschiebt, sondern von einem Anwachsen des Rückstroms, dem die Vorwärtsströmung seitlich ausweicht. In der neuen Formulierung lässt sich nicht nur eine Ausdifferenzierung, sondern auch eine gewisse Dynamisierung des Konzepts erkennen, die auf die Versuche mit filmischer Aufzeichnung zurückzuführen sein könnten – wenngleich dies Vermutung bleiben muss.

In Bezug auf die epistemische Rolle der Bilder bleibt also festzuhalten: Lange bevor Ahlborn die in Heidelberg gezeigten Fotos öffentlich kritisierte und mit dieser Kritik auch gleich Prandtls Theorie über Bord werfen wollte, hatte sich Prandtl von Ahlborns Methoden zur Strömungsvisualisierung überzeugen lassen. Erst in der Auseinandersetzung mit dessen Methoden und dank ihrer Weiterentwicklung war es Prandtl möglich, später jene Filmaufnahmen anzufertigen, die eine beispiellose Karriere in der Fluidodynamik machen sollten. Im Kontext der Geschichte des Films ist zudem zentral, dass Prandtl nicht nur die Visualisierungsapparatur Ahlborns nachbaute, sondern auch die Idee übernahm, die Wirbelbildung auf Zelluloid zu bannen und so zu erfassen, wie sich ein Wirbel in der Zeit entfaltet.

Ahlborn und Prandtl pflegten trotz ihrer unterschiedlichen wissenschaftlichen Herkunft und institutionellen Anbindungen zunächst einen freundschaftlichen und kooperativen Umgang. Ihre wissenschaftliche Beziehung beruhte auf der Wertschätzung der eingesetzten Bildtechniken und die Interpretation der Bilder Ahlborns durch Prandtl im Sinne seiner Theorien erzeugte zunächst keine Unstimmigkeiten. Es greift folglich zu kurz, die differierenden Bilddeutungen auf die Zugehörigkeit zu einer anderen Gemeinschaft zurückzuführen. Erst später entwickelte vor allem Ahlborn zunehmend Ressentiments. Bilder und Filme waren in diesem Fall keine Projektionsflächen für zuvor gefasste theoretische Überzeugungen, sondern ständige Begleiter und Kristallisationskerne der Beziehung zwischen den beiden Strömungsforschern: Gewissermaßen koevolutiv entwickelte sich die Beziehung anhand und mit der Produktion und Interpretation ihrer Bilder.

und Hindernis vgl. Hans Rubach, *Über die Entstehung und Fortbewegung des Wirbelpaares hinter zylindrischen Körpern*, Berlin: Selbstverlag des VDI 1916, S. 4–6.

Während des Ersten Weltkrieges waren Prandtl und Ahlborn mit kriegsrelevanten Forschungen beschäftigt. Der Streit zwischen ihnen brach erst nach dem Krieg aus, als Ahlborns Forschungsmittel schwanden und sich Prandtls internationaler Erfolg immer deutlicher abzeichnete. Zum offenen Disput kam es, nachdem Prandtl und seine Mitarbeiter die Visualisierungsmethoden Ahlborns übernommen und zu ihrem Standard gemacht hatten. Konkreter Anlass war zunächst ein Manuskript Ahlborns, das Prandtl Anfang der 1920er Jahre als Gutachter von der *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* (ZFM) zugestellt wurde. Zwar empfahl Prandtl das Manuskript zur Veröffentlichung, aber er regte einige Änderungen an. Darauf entwickelte sich eine briefliche Auseinandersetzung zwischen Ahlborn und Prandtl, in dem es vor allem um unterschiedliche Vorstellungen vom Vogelflug ging. 1924 wurde der Streit harscher, als Prandtl wiederum als Gutachter für die ZFM einen Aufsatz Ahlborns zur Ablehnung empfahl. In dem Aufsatz griff Ahlborn nun direkt die Tragflügeltheorie Prandtls an. Er wurde nie veröffentlicht, in Briefen an Ahlborn kritisierte Prandtl sowohl den Inhalt des Aufsatzes als auch die Bilder Ahlborns. Diese seien bei zu geringen Kennwerten aufgenommen, ergo bei (unter Annahme der gleichen Flügelgröße) zu geringen Strömungsgeschwindigkeiten, weswegen eine »Übertragung auf die Verhältnisse beim Flugzeug kaum noch zulässig ist«. ⁷² Zudem wunderte sich Prandtl, dass Ahlborn die Existenz des Anfahrwirbels leugnete. Im Brief beschrieb er dann ein einfaches Experiment, das im Prinzip eine zentrale Szene seines Films vorwegnimmt. Der Anfahrwirbel ließe sich einfach mit einem Taschenmesser in der Kaffeetasse simulieren, schreibt er, und fährt fort:

Nehmen Sie z. B. [...] einen Kochtopf mit Wasser, das sie mit Bärlappsamen bestreuen. Das etwas schräg angestellte Messer wird nun rasch von der Stelle A nach B bewegt, dann bleibt bei A der Anfahrwirbel zurück. Hält man das Messer B ebenso schnell wieder still, so löst sich auch hier die erzeugte Zirkulation wieder von dem Messer ab und bildet einen gegenläufigen Wirbel. ⁷³

Später integrierte Prandtl dieses Experiment in seinen Film, mit Tragflügelprofil im Wasserkanal statt mit Taschenmesser im Kochtopf. In dem Brief

⁷² Prandtl an Ahlborn, 23. 10. 1924, AMPG III/61/15.

⁷³ Ebd.

an Ahlborn 1924 konnte Prandtl jedoch noch nicht auf den Film, sondern nur auf das Kaffeetassen-Experiment und – in einem darauffolgenden Brief – auf seine 1912 nach der Ahlborn'schen Methode angefertigten Bilder von Tragflügelprofilen verweisen. Prandtl schrieb zu diesen:

Wenn auch vielleicht ihre Bilder schöner sind als die unsrigen [...] so müssen Sie diese alten Bilder davon überzeugen, daß wir selbst über die Flugzeugströmungen seit langem einigermaßen Bescheid wissen. Im Übrigen haben die Bilder denselben Mangel wie die Ihrigen, daß sie bei zu kleiner Reynolds'scher Zahl aufgenommen sind. Wir wissen es aber [...].⁷⁴

Prandtl ließ Ahlborn die alten Glasplatten von 1912 sogar zukommen, damit dieser in seinem Artikel darauf eingehen könne. Aber obwohl Ahlborn den strittigen Anfahrwirbel darauf »in idealer Schönheit« erkannte, kritisierte er den Anstellwinkel der Tragfläche. Die Aufnahmen waren für ihn vielmehr ein Beleg für seine eigene These, dass die an der Oberseite der Tragflügel erkennbare Wirbelschicht entscheidend für den Auftrieb sei.⁷⁵ Prandtl reagierte mit der Ankündigung, dass er sich gezwungen sähe, neue Bilder von Tragflächen bei geringerem Anstellwinkel in seinem Versuchskanal anzufertigen, wenn Ahlborn nicht von seinem Standpunkt abrücken würde. Ahlborn wiederum lehnte dankend ab, weil das nach seiner Auffassung an der Tatsache zahlreicher weiterer Wirbel nichts ändern würde. Prandtl sollte etwas später die Experimente dennoch wiederholen und auch Aufnahmen davon in seinen Film integrieren.

Bilder und Filme blieben auch nach diesem Konflikt Austauschgut und ständiger Ansporn zwischen den beiden. Ahlborn sandte Prandtl zahlreiche Glasplatten mit Strömungsaufnahmen um verschiedene Hindernisse zu und Prandtl wiederum stellte Ahlborn einige Bilder und Filme zur Vorführung zur Verfügung. Höhepunkt des Streits war schließlich ein im Jahrbuch der WGL veröffentlichter Artikel von 1927, in dem Ahlborn Prandtls Grenzschichttheorie kritisierte.⁷⁶ Dieser Artikel diente Bloor als hauptsächlicher Beleg für seine These. Im Artikel versammelte Ahlborn seine Einwände gegen die Bilder Prandtls und gegen dessen Theorie, die Ahlborn nur als »Ablösungstheorie« bezeichnete, um die Existenzbehauptung einer Grenzschicht auch sprachlich zu umgehen: die rücklaufende Bewegung in der Wandnähe des Körpers sei nicht Ursache, sondern Folge der Wirbelbildung, Eisenglimmer

74 Prandtl an Ahlborn, 10. 11. 1924, AMPG III/61/15.

75 Ahlborn an Prandtl, 1. 12. 1924, AMPG III/61/15.

76 Ahlborn, »Die Ablösungstheorie« (1927).

sei als Markerpartikel ungeeignet, die Grenzschicht ließe sich nicht durch Absaugen beseitigen etc. Bereits vor der Veröffentlichung des Artikels hatte Ahlborn an Prandtl geschrieben: »Klug wäre es gewesen, wenn Sie Ihre Ablösungstheorie nach den Rubach'schen Aufnahmen zurückgezogen hätten.«⁷⁷ Mit anderen Worten: Ahlborn führte den theoretischen Streit auf die Aneignung seiner Visualisierungstechniken durch Prandtls Labor zurück – denn dafür standen die Aufnahmen Rubachs. Ahlborn konnte oder wollte nicht akzeptieren, dass Prandtl mit seinen Visualisierungsmethoden jenen Erfolg in der strömungsdynamischen Forschungscommunity hatte, der ihm selbst gerade in dieser Zeit zunehmend verwehrt wurde.

Es war schließlich Prandtls Film über die Entstehung von Wirbeln, der in der ausführlichen Diskussion des Artikels, der im Jahrbuch abgedruckt ist, im Mittelpunkt stand. Während Ahlborn den Film gar nicht gesehen hatte, meinte Prandtl mit seinem Film einen Schlussstrich unter die Diskussion setzen zu können.

Bilder als Beziehungsmedien

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Streit zwischen Ahlborn und Prandtl viele soziale und kulturelle Hintergründe hatte. Es war ein Kampf zweier unterschiedlich erfolgreicher Männer, sozialisiert in den patriarchalen Strukturen des Kaiserreiches. Es war ein Streit unterschiedlicher Wissenschaftskulturen, zwischen Gymnasialprofessor und Universitätsprofessor, zwischen beobachtender Biologie und technisch-mathematischer Ingenieurwissenschaft, zwischen empirie- und theoriegeleiteter Herangehensweise. Entscheidend für eine visuelle Geschichte der Fluidodynamik ist aber, dass der Streit anhand von Bildern geführt wurde.

Dabei zeigen die unterschiedlichen und sich wandelnden Bildinterpretationen der beiden zunächst auch, wie sehr Wahrnehmungen abhängig von Vorannahmen, Überzeugungen und in diesem Fall auch von Kränkungen, Sehnsüchten und Hoffnungen sind. Ahlborn war der Zoologe, der einen zeittypischen fotografischen Positivismus vertrat.⁷⁸ Er wollte mit dem Filmtheoretiker André Bazin gesprochen ein Bild kreieren, das unbeschwert von der Freiheit der Interpretation ist.⁷⁹ Prandtl wiederum war der Ingenieur,

77 Ahlborn an Prandtl, 23. 7. 1927, AMPG III/61/15.

78 Ahlborn war von der Objektivität der Kamera überzeugt. Er vertraute auf die »Objektivität« der fotografischen Darstellung.

79 André Bazin, »The myth of total cinema«, in: Ders., *What Is Cinema 2*, hg. von Hugh Gray, Berkeley: University of California Press 1967, S. 23–27, hier S. 27.

der ein Bild der Bewegung erzeugen wollte, das dabei half, die Bewegung zu kontrollieren. Ihre jeweilige Interpretation, ihre jeweilige Bereitschaft, bestimmte Gestalten, wie etwa die Grenzsicht, in ihren eigenen Bildern und in den Bildern des jeweils anderen zu erkennen, war auch eine Folge ihres jeweiligen Denkstils, ihrer disziplinären Sozialisation und ihrer epistemologischen Haltung zu den Medien Fotografie und Film. Prandtl und Ahlborn sahen in den Bildern ganz im Sinne Bloors jeweils das, was sie sehen konnten und sehen wollten.

Aus dieser Perspektive unterstreicht eine visuelle Geschichte der Fluidodynamik, dass die Netzwerke, Gruppenzugehörigkeiten und Interessen der Wissenschaftler ein integraler Bestandteil der Geschichte der Fluidodynamik sind. Es sind die lokalen Kulturen und Institutionen, in denen sich die konkreten Forschungsvorhaben und Visualisierungsexperimente zu wissenschaftlichen Erkenntnissen in Bild- und Textform verdichten. Auch für die Fluidodynamik gilt, dass eine lokale Kultur der wissenschaftlichen Arbeit immer auch eine visuelle Kultur ist.⁸⁰ Der Geltungsanspruch von lokal produzierten wissenschaftlichen Bildern hat folglich immer nur eine begrenzte historische und soziale Reichweite. Als hochgradig verdichtete Knotenpunkte können Bilder eben je nach Vorwissen (Zoologie/Technik), Einstellung (praktisch/theoretisch) oder emotionalem Zustand (Neid/Gunst) immer anders gelesen (Ablehnung/Bestätigung) werden.

Auf der anderen Seite aber zeigt der Streit, dass aus der sozialen und kulturellen Bedingtheit jedes Sehens nicht folgt, dass Bilder nicht entscheidend bei der Wissensproduktion sein können. Vielmehr ist davon auszugehen, dass der Erfolg, dem Prandtls Film in der fluidodynamischen Community später beschieden sein sollte, zum Teil auf diesen Konflikt bei der Bilddeutung zurückgeht. Denn auch wenn sich Ahlborn (aus persönlichen wie sozialen Gründen) in der Folge nicht mehr von den Bildern Prandtls überzeugen ließ und bei der Haltung blieb, dass seine Fotografien *objektiv* zeigen würden, dass die Beobachtung der Prandtl'schen Theorie widerspräche, so ließ sich andererseits Prandtl durchaus von den Bildern Ahlborns überzeugen. Für ihn waren die Aufnahmen und auch die Kritiken Ahlborns stetiger Antrieb,

80 Zum Begriff der visuellen Kultur in den Wissenschaften vgl. Hentschel, *Visual Cultures* (2014), S. 9–28, S. 62–64, S. 82–84. Es ließe sich mithin diskutieren, ob es eine spezifische visuelle Kultur in den physikalischen Wissenschaften in Göttingen gab, die die Bildproduktion Prandtls mit angeleitet hat. Anführen ließen sich hier etwa die performative Lehrpraxis Robert Pohls, die ästhetische Ähnlichkeiten mit den Strömungsvisualisierungen Prandtls aufwies. Zu Pohl und weiterer Literatur vgl. Michael Markert, *Schattenprojektionen*, Blog des Forschungsprojektes »Projektionen. Die Lehrsammlung Robert Wichard Pohl«, <https://schattenprojektionen.uni-goettingen.de/>, zuletzt besucht am 14. 2. 2025.

andere und bessere Bilder herzustellen. Freundschaft und Streit flossen in weitere Bildproduktionen ein, so wie umgekehrt die Bilder Beziehungsmedien waren, die über Kooperation und Konkurrenz entschieden. Die Bilder waren eben nicht nur interpretationsbedürftiges Ergebnis der wissenschaftlichen Arbeit, sondern sie waren ein lenkender Teil der wissenschaftlichen Praxis. Sie waren wahrnehmungsleitend, wie ihre Produktion theoriegeleitet war. Mit anderen Worten: Bilder und Filme nur als diskutierbare Repräsentationen in den Wissenschaften zu sehen, lässt die Praktiken und Sehnsüchte außer Acht, die diese Repräsentationen bedingen.

In den Interpretationen von Bildern spiegeln sich nicht nur soziale Ordnungen, sondern Bilder produzieren diese auch. In den Worten Janet Vertesi: »images enroll multiple observers in complex social relationships.«⁸¹ Sehen und das Gesehene zu interpretieren sind Teil einer umfassenden Praxis, zu der das Sichtbarmachen, das Aufzeichnen und das Wiedergeben genauso gehören wie die ständige Diskussion und Legitimation des Gesehenen. Karen Barad formuliert es mit den Worten: »Images are not snapshots or depictions of what awaits us but rather condensations or traces of multiple practices of engagements.«⁸² Unterstrichen wird dies noch, wenn wir uns im folgenden Kapitel der konkreten Produktion des Films widmen.

Wir werden zeigen, dass die Geschichte der Fluidodynamik erweitert und irritiert wird durch ein Verständnis davon, wie diese Bilder in technischer Hinsicht zustande kamen und in psychischer (Begehren) und sozialer (Vergnügen) Hinsicht wirksam wurden.

81 Janet Vertesi, *Seeing like a Rover: How Robots, Teams, and Images Craft Knowledge of Mars*, Chicago: University of Chicago Press 2015, S. 15.

82 Karen Barad, *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*, Durham, NC: Duke University Press 2007, S. 53; für eine ähnliche Argumentation zu »scientific visualisations« als »inter-relationships« vgl. Annemarie Carusi, »Scientific visualisations and aesthetic grounds for trust«, in: *Ethics and Information Technology* 10 (2008), S. 243–254, <https://doi.org/10.1007/s10676-008-9159-5>.

Kapitel 2

Laborfilm, 1925–1926



Abb. 2.1: Blick in das Wasserlaboratorium des neu fertiggestellten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, ca. 1925.

Das Foto ermöglicht einen Blick in das neu eröffnete Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung. Zu sehen ist das Wasserlaboratorium im Erdgeschoss. Der undatierte Glasplattenabzug sollte vermutlich den Abschluss der größten Innenausbauten des neuen Instituts dokumentieren. Die Laborräumlichkeiten zeigen sich in einem Stadium der gerade beginnenden Aneignung durch die Wissenschaftler·innen. Installiert ist nur ein halbfertiger Versuchsaufbau, der am rechten Rand zu sehen ist: der Kanal, in dessen vollkommen glatter Wasserfläche sich das von außen einfallende Licht spiegelt, zwei riesige Bogenlampen und dazwischen ein großer Holzkasten. Nach eingängiger Recherche konnten wir diesen Holzkasten als einen Liesegang-Kinematografen mit Baujahr 1907 identifizieren, ein Aufnahmeapparat,

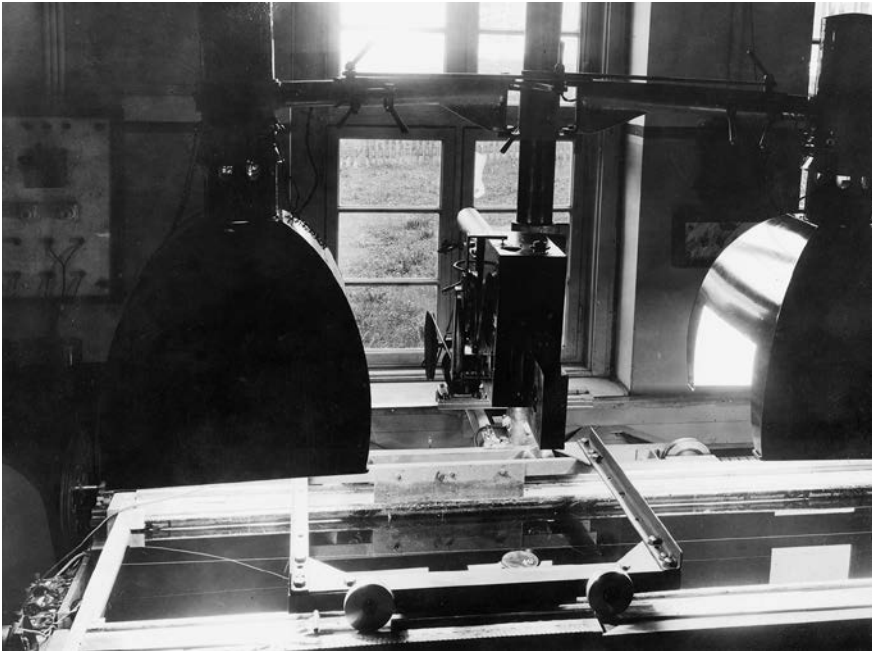


Abb. 2.2: Experimentalaufbau mit umgebauter Liesegang am Wasserkanal des KWI für Strömungsforschung, ca. 1925.

von dem vermutlich kein Exemplar erhalten geblieben ist.¹ Andere Abzüge (Abb. 2.2) zeigen weitere Einzelheiten des experimentellen Settings: etwa den Wagen, der den Zylinder, die Kamera und die Bogenlampen durch das Wasser zieht. Auch lässt sich die komplizierte Konstruktion eines Motors mit mehreren Umlenkrollen an der Stelle der Kamera erkennen, an der sich für gewöhnlich die Handkurbel befindet.

Die Fotografien verdeutlichen, dass beim fluiddynamischen Experimentalsetting ein foto- respektive kinematografischer Aufbau notwendigerweise eingeplant wurde. Es lässt sich sogar argumentieren, dass das fluiddynamische Experiment auf die foto- und kinematografische Aufzeichnung ausgerichtet wurde und nicht etwa umgekehrt. Denn die Kamera und die Scheinwerfer verstellen aufgrund ihrer Position und Größe den Blick einer beobachtenden Person auf die Phänomene. Der technische Blick der optischen Apparatur ersetzte hier die direkte Beobachtung am Kanal. Dieser

¹ Abgebildet und beschrieben ist die Kamera in: Franz Paul Liesegang, *Handbuch der praktischen Kinematographie*, Leipzig: Ed. Liesegang's Verlag 1911, S. 278–282.



Abb. 2.3: Aufnahmen eines rotierenden Zylinders im Wasserkanal des KWI, die wahrscheinlich mit der Liesegang gemacht wurden.

Eindruck wird in den Fotografien durch die Abwesenheit jedweder Personen im Raum verstärkt. Was die Fotografien zeigen, ist ein kinematografisches Experimentalsetting ohne Experimentator, ein Labor, in dem die Strömung dort erzeugt wurde, wo die Kamera stationiert war.

In diesem Labor und mit vergleichbaren Aufbauten an unterschiedlichen Wasserkanälen produzierte Prandtl ab 1925 zunächst mit seinem Assistenten Oskar Tietjens und später mit verschiedenen anderen Kollegen zahlreiche Filmaufnahmen. Die frühesten erhalten gebliebenen Filmsequenzen aus dem Prandtl'schen Labor, die sich heute im Eye Filmmuseum in Amsterdam befinden, zeigen rotierende Zylinder und sind sehr wahrscheinlich mit eben dieser Liesegang-Kamera aufgenommen worden (Abb. 2.3).² Einige dieser Sequenzen fanden auch noch Eingang in die früheste Version des Göttinger

² Es lässt sich nicht eindeutig rekonstruieren, ob diese Aufnahmen eventuell sogar noch vor Eröffnung des Neubaus des hydrodynamischen Instituts gemacht wurden oder erst danach. Auf jeden Fall wurden die Experimente mit rotierenden Zylindern unmittelbar im neuen Institut fortgeführt.

Strömungsfilms von 1927. Erst nach der Londoner Premiere des Films, um die es im dritten Kapitel gehen wird, wurden sie mit der Begründung ersetzt, dass die Aufnahmen »somewhat ancient and [...] taken with more primitive means« seien.³

Diese Fotos aus dem Göttinger Labor stellen einige der wenigen Zeugnisse dar, durch die die frühen Umstände der Produktion des Göttinger Strömungsfilms greifbar werden. Sie geben den Filmbildern, die nichts vom Labor zeigen, in dem sie gemacht wurden, die fast keinen Hinweis liefern, wann, wo und mit welchen Apparaten, einen Ort und eine Zeit. Solche Laborbilder sind ein Glücksfall für Wissenschaftsforschende, die an den konkreten Praktiken der wissenschaftlichen Arbeit interessiert sind. Sie versprechen einen Blick hinter die Kulissen der Bilder, Filme, Schriften und Artikel, die – wenn überhaupt – nur wenig von den räumlichen, medialen und materiellen Bedingungen der Produktion und Sichtbarmachung der in ihnen aufgestellten Theorien und besprochenen Phänomene Preis geben. Und genau deshalb dienen sie uns als Auftakt in das Kapitel, in dem wir beschreiben, wie die Filmkamera überhaupt zu einem Teil des experimentellen Settings werden konnte.

Während wir im vorherigen Kapitel der epistemischen und sozialen Rolle der Bilder in der Fluidodynamik, dem Vorleben des Films und den damit verbundenen Kontroversen nachgegangen sind, steht hier nun das konkrete Tun mit der Filmkamera im Vordergrund, die die fotografische Kamera zwar nicht ablösen, aber ihr vermehrt den Rang ablaufen sollte. Mit dieser historischen Laborstudie möchten wir auch einem Desiderat in der Historiografie des wissenschaftlichen Films Rechnung tragen, in der zwar die epistemische Bedeutung des Bewegtbildes für die Entwicklung einzelner Disziplinen (wenn auch nicht für die Strömungsforschung) bereits diskutiert wurde, aber es an Fallstudien mangelt, die den Einsatz der Filmkamera im Labor und die damit verbundenen Hürden konkret nachzeichnen.⁴ Die Untersuchung der Produktionsbedingungen kann zeigen, dass Filmbilder erst in einem komplexen Zusammenspiel von neuen und alten experimentellen Techniken entstanden sind, die sich wiederum mit und gegen etablierte Denk- und Handlungsweisen durchsetzen mussten. Zudem spielten spezifische ökonomische und wissenschaftspolitische Motive in ihre Produktion hinein.

3 Ludwig Prandtl, »The Generation of Vortices in Fluids of Small Viscosity«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 720–741, hier S. 739, <https://doi.org/10.1017/S0368393100139872>.

4 Für diesen Befund vgl. Jesse Olszynko-Gryn, »Film lessons: early cinema for historians of science«, in: *The British Journal for the History of Science* 49/2 (2016), S. 279–286, <https://doi.org/10.1017/S000708741600039X>.

Wir widmen uns zunächst dem historischen Kontext, in dem die Filmaufnahmen von 1925 erstellt wurden. Dabei gehen wir erstens auf die neue Forschungsinfrastruktur, zweitens auf die konkreten Forschungsfragen, die mit den Aufnahmen beantwortet werden sollten, sowie drittens auf den Anlass der Produktion ein. Darauf folgend widmen wir uns den Hürden, denen Prandtl und Tietjens bei der Produktion bewegter Bilder begegneten. Wir erzählen exemplarisch davon, wie die Produktion theoriegesättigter Bewegtbilder abhängig von den Apparaten, den Wahrnehmungskonventionen und den Politiken der Aufmerksamkeit einer jungen Wissenschaft war.

Infrastruktur: Institutsneubau

Die Pläne für das neue Institut mit Wasserlaboratorium gehen auf das Jahr 1911 zurück, also auf die Zeit, in der Prandtl erstmals mit Film experimentierte. Prandtl plante damals ein deutlich größeres Forschungsinstitut, das die anwendungsnahe Aerodynamik mit einer Hydrodynamik zusammenbrachte, in der die Visualisierung grundlegender Strömungsphänomene im Mittelpunkt stehen sollte. Um ihm größere Unabhängigkeit von der Industrie zu gewähren, sollte das Institut von der neugegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft getragen werden. Herzstück der Pläne war neben einem größeren Windkanal (nach Muster der seit 1907 bestehenden Modellversuchsanstalt), der den aerodynamischen Versuchen dienen sollte, auch ein »etwa 60m lange[s] und 6–7m breite[s] Kanalhaus« für die hydrodynamischen Versuche.⁵ In seiner ausführlichen »Beschreibung des Projekts eines Forschungsinstituts für Aero- und Hydrodynamik« von 1912 ist ein Wassertank vorgesehen, der »in universeller Weise für die Beobachtung und photographische Festlegung der verschiedensten hydrodynamischen Vorgänge eingerichtet ist.« In der Kostenrechnung ist unter dem Punkt »Messinstrumente für allgemeine Zwecke« explizit von einer kinematografischen Einrichtung zu 2200 Reichsmark die Rede, was für damalige Verhältnisse eine beachtliche Summe darstellte.⁶

5 Vgl. Ludwig Prandtl, »Denkschrift über die Errichtung eines Forschungsinstituts für Aerodynamik und Hydrodynamik in Göttingen, 16. Februar 1911«, abgedruckt in: Julius Rotta, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen, ein Werk Ludwig Prandtls: ihre Geschichte von den Anfängen bis 1925*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1990, S. 99–102.

6 Anonym, »Beschreibung des Projekts eines Forschungsinstituts für Aero- und Hydrodynamik«, abgedruckt in: Julius Rotta, *Dokumente zur Geschichte der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen 1907–1925*, Köln: Wissenschaftliches Berichtswesen der DLR 1990, S. 38–52, hier S. 40 und 48.

Aufgrund des Kriegsausbruchs wurden diese Pläne allerdings nie in der vorgesehenen Weise umgesetzt. Stattdessen wurde zunächst nur der, wie Prandtl später feststellte, »kriegswichtige Teil« des Plans, nämlich die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA) mit dem großen Umlauf-Windkanal umgesetzt, also jener Windkanal, der als »Göttinger Typ« zum weltweiten Vorbild in der Windkanalforschung werden sollte. Mit der Hydrodynamik verschwand auch die Kinematografie aus den Plänen,⁷ vermutlich da die kinematografische Aufzeichnung von Luftbewegungen wesentlich aufwändiger und fehleranfälliger war als die von Wasser.

Der hydrodynamische Teil des Planes wurde erst über zehn Jahre später, 1923, in abgewandelter Form bewilligt – nach langem Ringen um eine Finanzierung in den durch Hyperinflation und Stabilisierungskrise geprägten Zeiten. Während allerdings der bereits im Krieg realisierte aerodynamische Teil die dreifache Größe des Projektplanes von 1912 erhalten hatte, wurde der hydrodynamische Bau massiv verkleinert.⁸ Der Bau des hydrodynamischen Instituts kam zudem vermutlich nur zustande, weil Prandtl – nach einem Ruf an die Technische Hochschule in München auf den wohl bedeutendsten Lehrstuhl für Mechanik im deutschsprachigen Raum – im Begriff war, Göttingen zu verlassen. Prandtl machte seinen Verbleib explizit vom »Ausbau der Anstalt nach der hydrodynamischen Seite« abhängig.⁹

Das hydrodynamische Institut war eine Herzensangelegenheit Prandtls. Sein Biograf Michael Eckert schreibt: »Für Prandtl bedeutete dies die Erfüllung seiner Wünsche. Als Direktor des neuen Kaiser-Wilhelm-Instituts durfte er sich die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Strömungsmechanik in vollem Umfang zur neuen Lebensaufgabe machen.«¹⁰ Das wird auch in Anbetracht dessen deutlich, dass er die Leitung des zukünftigen Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung selbst übernahm und die Leitung der Aerodynamischen Versuchsanstalt mit den für die angewandte Forschung wichtigen Windkanälen Albert Betz überließ.¹¹ Die Rückkehr zur Hydrodynamik war eine Rückkehr zu den grundlegenden Fragen, die

7 Ludwig Prandtl, »Beschreibung des Projekts einer Modellversuchsanstalt«, 26. 5. 1915, abgedruckt in: Rotta, *Dokumente zur Geschichte* (1990), S. 79–98, hier S. 96.

8 Zur Institutsgeschichte vgl. Rotta, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt* (1990), S. 234; Eckart Henning, Marion Kazemi, *Handbuch zur Institutsgeschichte der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften 1911–2011: Daten und Quellen II/1*, Berlin: Max-Planck-Gesellschaft 2016, S. 29–32; Michael Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg: Springer 2017, S. 138–162.

9 Sitzung Kuratoriums AVA, 15. 10. 1920, AMPG 1/1A/1486.

10 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 161, S. 185.

11 Ebd., S. 161.

Die Hydrodynamik war allerdings nicht erst mit dem Institutsneubau, sondern bereits nach dem Ersten Weltkrieg stärker ins Zentrum der Forschungen in Göttingen gerückt. Das hing auch mit dem Versailler Friedensvertrag zusammen, der den Bau von Militärflugzeugen im Deutschen Reich untersagte und zudem der zivilen Motorluftfahrt enge Grenzen setzte. Mit den ausbleibenden Aufträgen von Flugzeugfirmen schwand die Bedeutung der aerodynamischen Forschungen. Prandtl konnte sich jedenfalls Anfang der 1920er Jahre wieder stärker der hydrodynamischen Grundlagenforschung am Wasserkanal und den Experimenten mit Film widmen. Diese Experimente betrafen zunächst seine Forschungen zur Turbulenz und damit jenes Gebiet, auf das er in dieser Zeit sein Hauptaugenmerk legen sollte.¹⁴ Gerade hier waren punktuell-intrusive Messmethoden wenig erfolgversprechend, weil diese selbst wiederum Turbulenzen in der Strömung produzierten und nicht wie Film den gesamten Strömungsverlauf in seiner verwickelten, komplexen Dynamik erforschbar machten. Die Möglichkeiten des Mediums Film schienen bei der Turbulenz besonders vielversprechend: Im Film ließ sich die Strömung immer wieder und wieder ansehen sowie verschnellern oder verlangsamen.

Eine frühe explizite Formulierung bezüglich des möglichen Einsatzes von Film bei der Erforschung von Turbulenz findet sich in einem Brief von Prandtl an seinen berühmtesten Schüler von Kármán aus dem Jahre 1920. Prandtl berichtet darin, dass er sich die Turbulenz angesehen hätte, er bedauerte jedoch die ungenügende Visualisierung: »Man sieht sehr viel, aber klug bin ich nicht daraus geworden, was eigentlich los ist. Man müsste die Sache mit der Zeitlupe photographieren.«¹⁵ »Zeitlupe« stand dabei wahrscheinlich nicht nur allgemein für die filmtechnische Möglichkeit, Bewegungen in höherer Bildwechselfrequenz aufzunehmen und die aufgenommenen Prozesse entsprechend langsamer wiederzugeben. »Zeitlupe« – insbesondere mit dem Artikel »der« davor – stand auch konkret für den gleichnamigen Apparat der Firma Ernemann, der die Aufnahmetechnik für eine breitere Öffentlichkeit popularisierte, der aber nach unserer Kenntnis nie am Göttinger Institut zum Einsatz kommen sollte. An der Aussage Prandtls zeigt sich jedenfalls ein

14 Ludwig Prandtl, »Die Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 18 (1927), S. 489–496, hier S. 496; zur zentralen Bedeutung der Turbulenzforschung für Prandtl in jener Zeit vgl. Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 151–173.

15 Prandtl an von Kármán, 11. 8. 1920, DLR GOAR 1364; vgl. auch Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 159–160.

wiederkehrender Aspekt in seiner Auseinandersetzung mit der Filmkamera, der vielleicht generell für die Anwendung von Fotografien oder Filmen im Laborkontext typisch war: Prandtl changierte zwischen Enttäuschung (»klug bin ich nicht daraus geworden«) und Hoffnung (»Man müsste die Sache mit der Zeitlupe photographieren«).

Der Wissenschaftshistorikerin Jimena Canales zufolge war die Geschichte der wissenschaftlichen Kinematografie in ihrer Anfangszeit eine Geschichte enttäuschter Hoffnungen, oder mehr noch enttäuschter Begehren, gewesen: Filmforschende hätten sich um die Jahrhundertwende erhofft, die Welt so aufzuzeichnen und wieder abzuspielen, wie sie sich quasi selbst zeige respektive wie sie sich für eine interesselos beobachtende Person zeigen würde.¹⁶ Insbesondere die Schwierigkeit, die Bewegungen, die durch die Aufnahme in Einzelbilder zerlegt worden waren, wieder zusammenzusetzen, produzierte jedoch immer wieder Enttäuschungen. Die Hoffnungen, im Film ein Instrument zu haben, das Bewegungen sowohl aufzeichnen, um mit der gebotenen Genauigkeit Messdaten daraus zu gewinnen, als auch unabhängig von einer beobachtenden Person wiedergeben kann, wurden zunächst enttäuscht. Dennoch trat Film als Forschungsinstrument in der Folge einen Siegeszug in verschiedenen Disziplinen an.

Der Austausch zwischen Prandtl und von Kármán fand auf der Jahresversammlung der Deutschen Mathematikervereinigung in Jena 1921 seine Fortsetzung. Von Kármán äußerte Zweifel, »ob man durch direkte Beobachtung der entstehenden Wirbel über das Wesen der Turbulenz etwas erfahren wird.« Beobachten ließen sich nur die »ungemein komplizierten, durch allerlei Zufall beeinflussten Vorgänge«. Insbesondere die mathematisch beschreibbare »stabile turbulente Strömungsform« würde sich »der direkten Beobachtung« entziehen, »weil die Vorgänge viel zu rasch vor sich gehen.« Auf dem Kongress erwiderte Prandtl entgegen seiner vorherigen Skepsis, dass er »nach erlangter theoretischer Klärung doch aus dem Versuch allerhand Nützliches ersehen konnte, wenn nicht durch den bloßen Augenschein, so doch durch das Betrachten von photographischen Aufnahmen.«¹⁷ Wobei »photographisch« in der damaligen Diktion kinematografische Aufnahmen durchaus mit einschließen konnte. Prandtls Changieren in der Bewertung seiner Bilder kann auf mindestens zwei Arten interpretiert werden: als bezeichnend für den unsicheren epistemischen Status der fotografischen

¹⁶ Jimena Canales, »Desired Machines: Cinema and the World in Its Own Image«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 329–359, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000147>.

¹⁷ Alle Zitate in der Diskussion zu Ludwig Prandtl, »Bemerkungen über die Entstehung der Turbulenz«, in: Ders., *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer 1961, S. 694–696, hier S. 695.

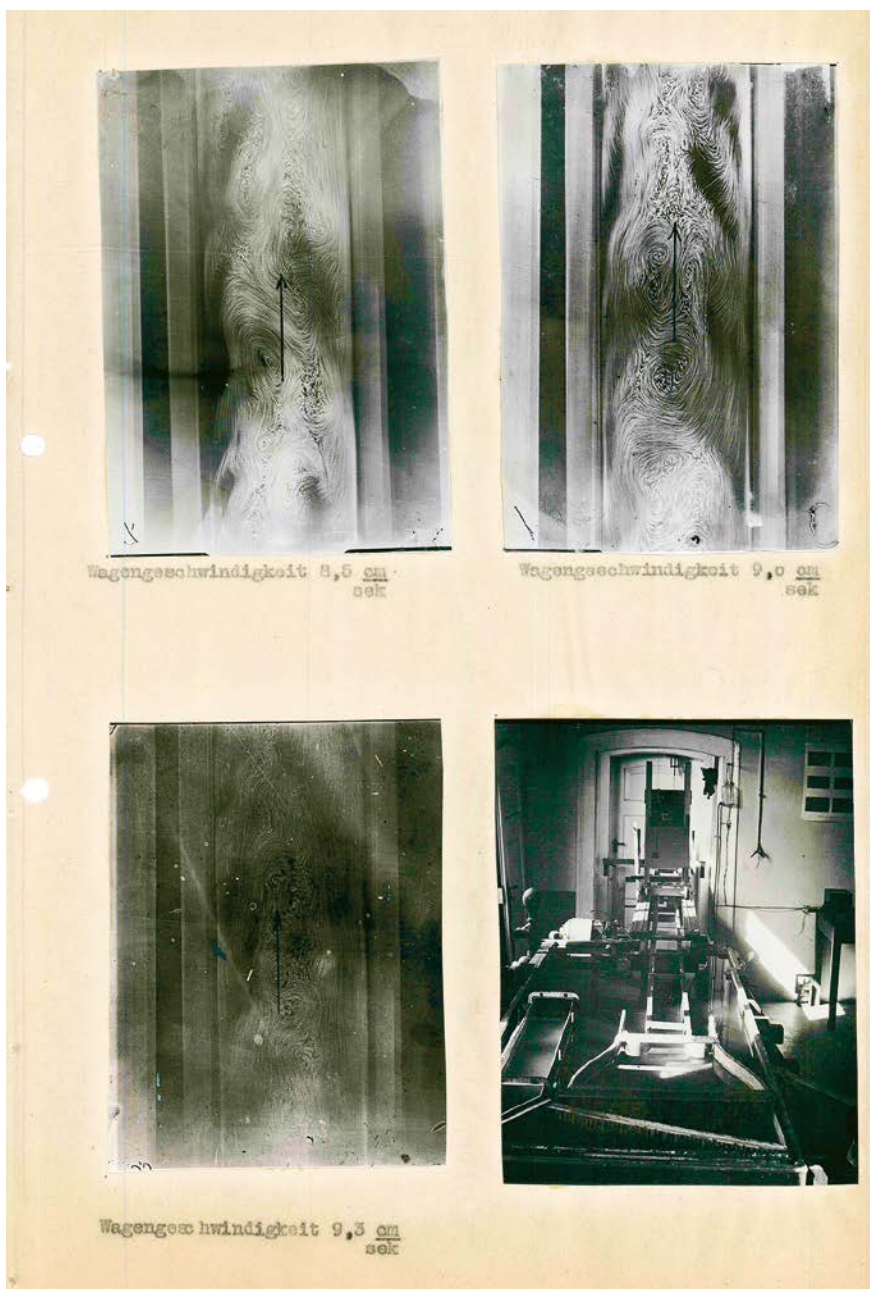


Abb. 2.5: Die Seite aus der Dissertation Johann Nikuradses von 1923 zeigt Turbulenzaufnahmen und eine Fotografie des Instituts für angewandte Mechanik, in der sich der Wasserkanal zwischen die Türen hindurchzwängen musste.

wie kinematografischen Strömungsaufzeichnungen jener Zeit, oder aber als beginnende Reflexion über genau diesen Status.

Prandtl setzte in dieser Zeit zwei seiner Doktoranden auf die Untersuchung der Turbulenz an. Sein späterer Filmemacher Tietjens fügte seiner Doktorarbeit *Beiträge zum Turbulenzproblem* einige fotografische Aufnahmen bei, die er im Institut für angewandte Mechanik an einem neu konstruierten Wasserkanal machte.¹⁸ Und auch Johann Nikuradse produzierte am selben Kanal (ungefähr zeitgleich) zunächst fotografische und dann auch kinematografische Aufnahmen, die Prandtl erstmals in Zürich im September 1926 vorführten sollte (Abb. 2.5).¹⁹

Anlass: Konkurrenz um das Rotorschiff

Den konkreten Anlass für die Produktion der fotografischen und kinematografischen Aufnahmen rotierender Zylinder lieferte eine Erfindung, die Mitte der 1920er Jahre in der breiten Öffentlichkeit für Furore sorgte: ein Rotorschiff, das nach seinem Erfinder, Anton Flettner, auch Flettner-Windkraftschiff genannt wurde.²⁰ Dieses sollte anstatt mit Segeln durch schnell rotierende Zylinder Vortrieb erzeugen und so dem Siegeszug der Motorschiffahrt etwas entgegensetzen. Die zentrale fluiddynamische Idee des Rotorschiffs war es, die Kraft, die ein durch den Wind angetriebener Zylinder quer zur Anströmungsrichtung produzierte, als Schiffsantrieb zu nutzen. Diese Querkraftwirkung rotierender Zylinder ist unter dem Namen Magnus-effekt bekannt. Nachdem die ersten Probefahrten mit einem umgebauten Dreimaster namens Buckau erfolgreich verliefen, stürzte sich die Presse auf das »Segelschiff ohne Segel«.²¹ Die Schlagzeilen gingen um die Welt, Flettner und dessen Idee wurden berühmt. Die Ufa drehte 1924 sogar einen Kinofilm

¹⁸ Oskar Tietjens, *Beiträge zum Turbulenzproblem*, Dissertationsschrift, Göttingen 1922, DLR GOAR AK 14701.

¹⁹ Johann Nikuradse, *Untersuchungen über die Geschwindigkeitsverteilung in turbulenten Strömungen*, Dissertationsschrift, Göttingen 1923, DLR GOAR AK 14742.

²⁰ Zur Geschichte des Rotorschiffes vgl. Claus D. Wagner, *Die Segelmaschine. Der Flettner-Rotor: eine geniale Erfindung und ihre mögliche Renaissance*, Hamburg: Kabel 1991; zur Rolle der AVA vgl. Rotta, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt* (1990), S. 288–289; Johanna Vogel-Prandtl, *Ludwig Prandtl. Ein Lebensbild. Erinnerungen, Dokumente*, Göttingen: Universitätsverlag Göttingen 2005 [1993], S. 89–92.

²¹ Anonym, »Ein Segelschiff ohne Segel. Umwälzende Erfindung in der Seeschiffahrt«, in: *Deutsche Allgemeine Zeitung*, Ausgabe Groß-Berlin, Abendblatt, 1. 11. 1924, S. 1. Eine Recherche in den Archiven deutsch- und englischsprachiger Zeitungen ergibt zahlreiche Treffer zum Rotorschiff. Die Artikel überschlagen sich mit Zukunftshoffnungen.



Abb. 2.6: In der Zeitungsannonce zum UFA-Film *Das Segel der Zukunft. Der Flettner Rotor* ist das Rotorschiff abgebildet, das den am KWI erforschten Magnuseffekt zum Vortrieb nutzte.

über die erste Demonstrationsfahrt mit dem vor Fortschrittssehnsucht strotzenden Titel *Das Segel der Zukunft. Der Flettner-Rotor* (Abb. 2.6). In einem Deutschen Reich, in dem sich viele – insbesondere nach dem verlorenen Krieg und der Hyperinflation – nach guten Nachrichten für die Zukunft und auch nach der verlorenen internationalen Bedeutung sehnten, fiel die Meldung einer potentiell epochemachenden Erfindung auf fruchtbaren Boden.

Das Göttinger Institut kooperierte mit Flettner, doch die Zusammenarbeit verlief nicht konfliktfrei. Es entwickelte sich ein Patentstreit im Hintergrund. Insbesondere war man in Göttingen erbost darüber, wie Flettner die Entwicklungsgeschichte der Erfindung öffentlich darstellte:²² Flettner ließ sich als Erfinder der Rotoren feiern und der Anteil der Göttinger schrumpfte laut einem Brief Jakob Ackerets, der als Mitarbeiter an der Erforschung des Magnuseffekts in Göttingen beteiligt war, an Flettners Adjutanten Heinrich Croseck auf »einige Versuche« zusammen, die Flettner »bei uns [hat] machen lassen«.²³ Diese »Zeitungspropaganda« (in Prandtls Worten)²⁴ wollten er und seine Kollegen aber nicht einfach auf sich sitzen lassen. Schließlich hatte Flettner zunächst eine ganz andere Schiffskonstruktion im Sinn: Nicht die rotierenden Zylinder, sondern bewegliche, aber

²² Wir folgen hier der Darstellung Claus Wagners, wenngleich dessen Zitationsweise eine Überprüfung des Hergangs im Archiv nicht möglich machte. Der Briefwechsel zwischen Prandtl und Flettner resp. dessen Institut bestätigt aber das Narrativ, AMPG III/61/452 und III/61/1183.

²³ Zitiert nach Wagner, »Die Segelmaschine« (1991), S. 107.

²⁴ Ludwig Prandtl, »Magnuseffekt und Windkraftschiff«, in: *Die Naturwissenschaften* 13 (1925), S. 93–108, hier S. 93.

formfeste Segelflächen aus Metall sollten den Wirkungsgrad des Segelschiffs erhöhen. Erst als Flettner von den Ergebnissen der seit 1923 in Göttingen unternommenen Versuchen mit rotierenden Zylindern erfuhr, sattelte er um und entwickelte die Pläne für ein Rotorschiff.²⁵

Die Göttinger wollten die Sache wieder zurechtrücken und über die eigentliche »Entdeckungsgeschichte der merkwürdigen Erscheinung« aufklären.²⁶ Auch weil, wie Prandtl es ausdrückte, »die Strömungslehre, die bis dahin ein bescheidenes Dasein, beschränkt auf den Kreis der engeren Fachleute, geführt hatte, sich plötzlich in den Vordergrund des allgemeinen Interesses« drängte.²⁷ Mittels Vorträgen und Artikeln, die sich an eine allgemeinere Öffentlichkeit richteten, aber dennoch die fluiddynamischen Hintergründe erläuterten, wollten die Göttinger Wissenschaftler die wissenschaftliche Urheberschaft der Rotoren zurückerobern: Ackeret schrieb ein kleines Büchlein, *Das Rotorschiff und seine physikalischen Grundlagen*, dessen Auflage von 8000 Stück innerhalb weniger Wochen vergriffen war. Der ebenso an den Versuchen beteiligte Albert Betz schrieb einen Beitrag für die Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure und Prandtl veröffentlichte seinen Artikel zum »Magnuseffekt und Windkraftschiff« in *Die Naturwissenschaften*,²⁸ nachdem er dazu bereits im November an der Hauptversammlung der KWG und einen Tag später vor der Göttinger Physikalischen Gesellschaft vorgetragen hatte. *Die Naturwissenschaften* war als Organ sowohl der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte als auch der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft eine der wichtigsten wissenschaftlichen Zeitschriften dieser Zeit im deutschsprachigen Raum. Vorbild war die englischsprachige Zeitschrift *Nature*, die wiederum eine stärkere Integration

25 Ackeret hatte schon 1923 Versuche mit einem selbstgebauten kleinen Windkanal gemacht, in dem dünne Zylinder aufgehängt waren. Mittels der üblicherweise im Windkanal benutzten Wagen konnten so die Auftriebs- und Widerstandswerte bestimmt werden. Durch die Benutzung von Fadensonden ließ sich zudem das Strömungsbild einigermaßen gut rekonstruieren: Jakob Ackeret, »Neuere Untersuchungen der Aerodynamischen Versuchsanstalt, Göttingen«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1924 12* (1925), S. 57–65, hier S. 62–65, <https://doi.org/10.1515/9783486749953-010>; vgl. auch Rotta, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt* (1990), S. 288.

26 Prandtl, »Magnuseffekt und Windkraftschiff« (1925), S. 93.

27 Ebd. Noch dazu waren laut Prandtl dem Institut in »der Angelegenheit der Flettnerschen Segelschiffserfindung [...] so zahlreiche Zuschriften verschiedener Art zugegangen, daß eine schnelle Beantwortung unmöglich war«. Er bedauerte daher in einem Rundbrief, »Veröffentlichungen unsererseits über den genannten Gegenstand sind bis jetzt noch nicht vorhanden« und kündigte die kommenden Artikel an. Zitiert nach Vogel-Prandtl, *Ludwig Prandtl* (2005 [1993]), S. 90.

28 Prandtl, »Magnuseffekt und Windkraftschiff« (1925).

von Text und Bild anstrebte.²⁹ Das Zielpublikum der *Naturwissenschaften* war ein breites und zum Teil nicht-wissenschaftliches.

Mit Blick auf die Rolle der Bilder ist interessant, dass Prandtls Ausführungen in diesem Artikel, in dem er den Magnuseffekt mittels seiner Grenzschichttheorie zu erläutern sucht, von einer nachhaltigen Unzufriedenheit mit jenen Bildern zeugen, die ihm damals zur Verfügung standen. Er verwendete abermals seine mittlerweile mehr als 20 Jahre alten, in Heidelberg gezeigten Fotografien sowie einige Bilder, die er wenige Jahre später erstellt hatte. Er erläuterte dazu: »Gelegentlich dieser Versuche ist auch einmal ein einzelner rotierender Zylinder untersucht worden, ohne daß allerdings damals viel Gewicht auf diese Sache gelegt worden wäre. [...] Diese Aufnahmen [...] waren technisch sehr unvollkommen.«³⁰ Weiter bedauerte er, dass bei den Versuchen von 1914, bei denen, wie im ersten Kapitel beschrieben, sein Doktorand Rubach bessere Aufnahmen anfertigte, wiederum keine Aufnahmen an rotierenden Zylindern angefertigt wurden. Es klingt so, als wäre sein Institut schlicht von dem Erfolg der Erfindung überrollt worden, bevor er oder seine Kollegen mit den »richtigen« Bildern Anspruch auf ihren Anteil an der Erfindung erheben konnten.

Aussagekräftige Bilder waren für den Artikel und die Erklärung des Magnuseffekts von besonderer Bedeutung, weil die »Theorie [...] noch nicht imstande« war, wie Ackeret in seiner ersten Publikation zum Magnuseffekt von 1924 ausführte, »eine genaue Beschreibung der tatsächlich statthabenden Strömungsvorgänge zu liefern.« Und weiter: »Allein bei dem gegenwärtigen Stande der Grenzschichttheorie ist es noch nicht möglich, diesen Übergang [von der Entstehung der Grenzschicht zur Zirkulationsströmung] rechnerisch zu verfolgen.«³¹ Statt ihn rechnerisch zu verfolgen, lag es nahe, den fraglichen Übergang zumindest im Bild verfolgbar zu machen, um so Laien und Fachleute zugleich von der Richtigkeit der qualitativen Aussagen der Prandtl'schen Grenzschichttheorie zu überzeugen. Der auf der Zirkulationswirkung beruhende Magnuseffekt war für die Göttinger zudem von besonderem Interesse, weil die Tragflügeltheorie Prandtls auf der Idee der Zirkulation um den Tragflügel basierte.

In seinem Artikel in *Die Naturwissenschaften* kündigte Prandtl neue Aufnahmen von rotierenden Zylindern an: »In einiger Zeit hoffe ich solche [...] nachholen zu können.«³² Und so kam es schließlich, dass Prandtl die

²⁹ Vgl. Klaus Hentschel, *Visual Cultures in Science and Technology. A Comparative History*, Oxford: Oxford University Press 2014, S. 30.

³⁰ Prandtl, »Magnuseffekt und Windkraftschiff« (1925), S. 101.

³¹ Ackeret, »Neuere Untersuchungen der Aerodynamischen Versuchsanstalt« (1925), S. 64–65.

³² Prandtl, »Magnuseffekt und Windkraftschiff« (1925), S. 101.

Eröffnung des neuen Wasserlaboratoriums nicht abwartete und gemeinsam mit Tietjens begann, neue Aufnahmen von rotierenden Zylindern zu machen. Wie auf dem Bild des bereits für die Turbulenzuntersuchungen genutzten Kanals zu sehen ist, mussten sie bis zur Institutseröffnung in den eigentlich zu kleinen Räumlichkeiten des Instituts für angewandte Mechanik an einem Wasserkanal arbeiten, der sich über zwei Räume durch eine geöffnete Tür hindurchzwängte (Abb. 2.5).

Kameraumbau: das Unbehagen an der Bewegung

Bevor die Bewegtbilder zum selbstverständlichen Teil des Denkens und Handelns innerhalb der Strömungsforschung werden konnten, sahen sich ihre Macher mit einigen Hürden konfrontiert. Am konkreten Beispiel von Prandtls kinematografischen Strömungsaufnahmen möchten wir im Folgenden zeigen, welche materiellen und technischen Schwierigkeiten und welche medialen und wahrnehmungsbezogenen Hürden mit der Einführung der Filmkamera in den Wissenschaften auch noch in den 1920er Jahren verbunden waren.

Wie sehr Prandtl mit dem nicht mehr ganz so neuen Instrument Filmkamera kämpfte – getrieben von kinematografischen Hoffnungen und enttäuscht von den kinematografischen Realitäten – wird an einem Aufsatz, den er zusammen mit Tietjens verfasst hat, besonders deutlich: »Kinematographische Strömungsbilder« erschien wie »Magnuseffekt und Windkraftschiff« 1925 in *Die Naturwissenschaften*, allerdings im letzten Heft des Jahres.³³ Der Artikel thematisiert die Möglichkeit kinematografischer Aufnahmen von Strömungen um rotierende Zylinder im Wasserkanal nach der erwähnten Ahlborn'schen Methode mit reflektierendem Aluminiumpulver auf der Wasseroberfläche. Prandtl und Tietjens beginnen ihren Text nach einer kurzen Beschreibung, wie sich fotografische Aufnahmen (am Wasserkanal) anfertigen lassen, mit einem Unbehagen die Kinematografie betreffend:

Will man nun, um die zeitliche Aufeinanderfolge von Strömungsvorgängen festzuhalten, solche Aufnahmen mittels des Kinematographen machen, so ergibt sich leicht die Schwierigkeit, daß auf der einzelnen Aufnahme wegen

³³ Ludwig Prandtl, Oskar Tietjens, »Kinematographische Strömungsbilder«, in: *Die Naturwissenschaften* 13 (1925), S. 1050–1053, hier S. 1050. Im selben Heft vertreten waren Artikel der Nobelpreisträger Fritz Haber, Otto Meyerhof und Otto Warburg.

der zu kurzen Belichtungszeit die Striche zu kurz werden und daß so die Stromlinienzeichnung nicht mehr erkennbar ist.³⁴

Die ersten von ihnen produzierten kinematografischen Bewegtbilder würden »nichts über die Flüssigkeitsbewegung aussagen.«³⁵ Hingegen zeigen sich bei einer fotografischen Aufnahme der bewegten Wasseroberfläche auf den Bildern die Wegstrecken, die die Aluminiumteilchen während der Belichtungszeit zurückgelegt haben, als – je nach Belichtungszeit – Punkte oder als kürzere respektive längere Striche. Genau mit diesem Zusammenhang von Belichtungszeit und Strichlänge haderten Prandtl und Tietjens bei ihren filmischen Aufnahmen. Um diesem – zumindest ihnen zufolge bestehenden – Nachteil beizukommen, aber eben dennoch »die zeitliche Aufeinanderfolge« der Vorgänge sichtbar zu machen, griffen sie in das Antriebswerk ihres kinematografischen Apparates ein, um die Belichtungszeit der einzelnen Bilder zu verlängern. Sie schreiben von einem Liesegang-Kinematografen »älterer Bauart«, der – wie eingangs beschrieben – im Institutsneubau Verwendung fand (Abb. 2.2). Mittels Einbau eines bei Filmvorführungsapparaten üblichen Malteserkreuzes in die Bilderkurbel der Kamera veränderten Prandtl und Tietjens das Verhältnis zwischen Belichtung und Weiterbewegung des Zelluloids. Das hatte zur Folge, dass sie zwar länger belichtete, aber nur – also für eine Filmkamera: nur noch – drei Bilder pro Sekunde aufnehmen konnten.

Um ihren Eingriff in die Filmkamera zu rechtfertigen, stellen sie im Aufsatz die zwei Filmstreifen gegenüber, die die Aufnahmen einmal mit nicht-umgebauter Filmkamera (Abb. 2.7, links) und einmal mit umgebauter Filmkamera (Abb. 2.7, rechts) zeigen. Dazu erläutern sie:

Man erkennt, wie – der geringeren Belichtungszeit wegen – die einzelnen Filmbildchen von Fig. 3 [links] nichts über die Flüssigkeitsbewegung aussagen, sondern nur den augenblicklichen Zustand der Bestreuung zeigen, während die Filmzeitbildchen von Fig. 4 [rechts] deutliche Stromlinienbilder sind, die einen guten Eindruck in den gerade herrschenden Strömungszustand geben.³⁶

Es fällt auf, dass Prandtl und Tietjens die unterschiedlichen Aufnahmen auf Basis ihrer Einzelbilder – oder wie sie es nennen, »Filmzeitbildchen« –

34 Ebd., S. 1050.

35 Ebd., S. 1053.

36 Ebd.

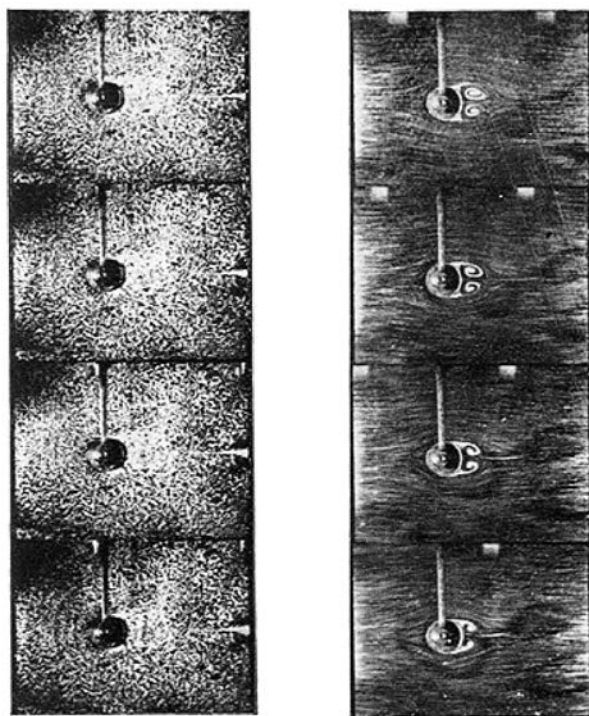


Abb. 2.7: In dem Artikel für die Naturwissenschaften stellen Prandtl und Tietjens die kinematografischen Aufnahmen/Partikelbilder (links) den »Filmzeitbildchen«/Stromlinienbilder, die mit umgebaute Filmkamera erstellt worden (rechts), einander gegenüber.

beurteilen. Sie betonen explizit: »Der Zweck solcher Aufnahmen ist auch gar nicht, sie im Laufbild vorzuführen, sondern sie Bild für Bild einzeln zu betrachten.«³⁷ Und dennoch verwendeten Prandtl und Tietjens keinen Fotoapparat mit Rollfilm und automatisiertem Auslöser, um Stromlinienbilder herzustellen, sondern sie bauten eine Filmkamera um, um Stromlinienserienbilder herzustellen. Warum sie dies taten, lässt sich nur vermuten: Eventuell wollten sie die Möglichkeiten eines perforierten 35mm-Films nutzen, der widerstandsfähiger im Transport ist und auf dem mehr Fotografien aufgenommen werden konnten als auf einem Rollfilm, und gleichzeitig die ihnen zufolge bestehenden Vorteile des Fotoapparats in Bezug auf die Belichtungszeit erhalten. Jedenfalls kreierten sie mit ihrer umgebauten Filmkamera ein Hybridmedium aus Foto und Film, quasi einen 35mm-

³⁷ Ebd., S. 1050.

Serienfotoapparat.³⁸ Dieser Umbau ist deswegen interessant, weil er einerseits einen seltenen Einblick in die konkrete Laborpraxis im Umgang mit Film liefert und weil darin andererseits eine (vorläufige) Ablehnung des Kinematografischen deutlich wird. Das Kinematografische ist hier nicht das – so häufig beschworene – Tor zum zuvor Unsichtbaren, ein williges Sichtbarmachungswerkzeug, sondern ein Werkzeug, das sich als widerspenstig erweist. Gerade diese Widerspenstigkeit – so unsere These – ermöglicht es aber, nach den visuellen Epistemologien in der Strömungsforschung in dieser Zeit zu fragen.

Zur epistemischen Rolle der Filmkamera in den Wissenschaften sind die Arbeiten der Biologiehistorikerin Hannah Landecker einschlägig. Sie beschreibt den mikrokinematografischen Apparat als »a kind of materialized epistemology«.³⁹ Dabei geht es ihr darum zu betonen, dass nicht nur die Kamera das Wissen (*experience*) der Forschenden über die Phänomene formt, weil sie die Eigenschaft besitzt, die menschliche Wahrnehmung zu erweitern, sondern eben auch umgekehrt, dass sich das praktische Wissen und die Wahrnehmungsweisen der Forschenden in den verwendeten Bildtechnologien sedimentiert und diese transformiert. Im Anschluss daran lässt sich bezüglich Prandtls und Tietjens' transformierter Kamera fragen, welche Epistemologie sich in dem hybriden Apparat materialisierte – oder eben auch nicht.

Um dieser materialisierten visuellen Epistemologie der Filmkamera näher zu kommen, werden wir im Folgenden die potentiellen epistemischen Motive für den Umbau der Kamera diskutieren. Welche Widerstände löste die Filmkamera bei Prandtl und Tietjens aus und wie versuchten sie, die Kamera ihren Vorstellungen davon, was ein Strömungsbild ist und was es leisten soll, also ihrer visuellen Epistemologie, anzupassen? Ging es ums Messen, ums Publizieren oder um die Ästhetik der Filmzeitbildchen? Ausgehend von den zahlreichen, mit den Bildern verbundenen Aktivitäten, die an das Labor anschließen – vom Messen, über das Publizieren bis hin zum wiederholten Anschauen der Bilder – sammeln wir Indizien für den Zusammenhang von Bildtechnik und Bildwissen.

38 Es ließe sich an dieser Stelle länger diskutieren, ob und inwiefern Vorgänger von Prandtl und Tietjens ähnliche Apparate konstruierten und mit ähnlichen Fragen konfrontiert waren. Zu nennen wären dabei etwa der im ersten Kapitel erwähnte Marey und die Gebrüder Mach.

39 Hannah Landecker, »Creeping, Drinking, Dying: The Cinematic Portal and the Microscopic World of the Twentieth-Century Cell«, in: *Science in Context* 24 (2011), S. 381–416, hier S. 384–385, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000160>. In ähnlicher Stoßrichtung bezeichnet Canales die Filmkamera als »metaphysical machine« (Jimena Canales, »Dead and Alive: Micro-Cinematography between Physics and Biology«, in: *Configurations* 23/2 (2015), S. 235–251, hier S. 237, <http://doi.org/10.1353/con.2015.0008>).

Es finden sich Hinweise, dass Prandtl und Tietjens die Absicht hatten, Messwerte aus ihren Bildern zu gewinnen. Ein erster, materieller Hinweis sind die Zeit- respektive Wegmarken am Rande des Zelluloids sowohl im Falle der Stromlinienbilder, die mit der Hybridkamera erstellt wurden (Abb. 2.8), als auch im Falle des abspielbaren Lauffilms mit den Partikelbildern (Abb. 2.9). Bei den Zeit- oder Wegmarken handelt es sich um weiße Markierungen, die am Wasserkanal in regelmäßigen Abständen angebracht waren.

Ausgehend von den Markierungen lässt sich die Beschleunigung und Geschwindigkeit, mit der der Wagen und entsprechend das Objekt durch das Wasser gezogen wurde, aus den Aufnahmen ermitteln. Je mehr die Zeitmarken verwischen, desto schneller fuhr der Wagen respektive desto länger war die Belichtungszeit der Aufnahmen. Auf den Stromlinienbildern sind die Markierungen aufgrund der längeren Belichtungszeit als leicht durchscheinende Rechtecke am unteren Rand des Bildes zu erkennen. Auf den Partikelbildern hingegen ist zu erkennen, dass es sich bei den Zeitmarken um längliche Dreiecke handelt. Aufgrund der Digitalisierung des Filmmaterials durch das Eye Filmmuseum Amsterdam haben sich die Ränder verschoben, so dass sich die Spitzen der Zeitmarken am unteren Bildrand befinden, der untere Teil der Zeitmarken allerdings am oberen Bildrand. Ferner befinden sich die Aufnahmen auf dem Kopf. Auf dem Filmmaterial selbst – eine Nitrozellulose-Rolle – sind deutlich die vollständigen Markierungen zu sehen (Abb. 2.10).

Prandtl und Tietjens erschien es vermutlich aussichtslos, jedem Partikel Frame für Frame im normalen Laufbild zu folgen, obwohl eine solche Auswertung einer kinematografisch aufgezeichneten Strömung im Wasserkanal schon 1917 von den britischen Aerodynamikern J. L. Nayler und R. A. Frazer gemacht wurde.⁴⁰ Ob Prandtl diese Analyse kannte, lässt sich nicht rekonstruieren, allerdings werden Nayler und Prandtl in den 1920 Jahren bezüglich des Films im Austausch sein, worum es im nächsten Kapitel gehen wird. Nayler wird Prandtl ebenso Texte zukommen lassen, »dealing with subjects in which you are interested«.⁴¹

Ein zweiter Hinweis auf ein grundsätzliches Interesse an der Ermittlung von Messdaten findet sich in dem Artikel selbst. Dort schreiben sie:

40 J. L. Nayler, R. A. Frazer, »Vortex Motion. (i) Preliminary Report upon an Experimental Method of Investigating, by the Aid of Kinematograph Photography, the History of Eddying Flow Past a Model Immersed in Water«, in: *Technical Report of the Advisory Committee for Aeronautics for 1917–18 1* (1921), S. 18–25.

41 Nayler an Prandtl, 10. 3. 1926, AMPG I/44/215.

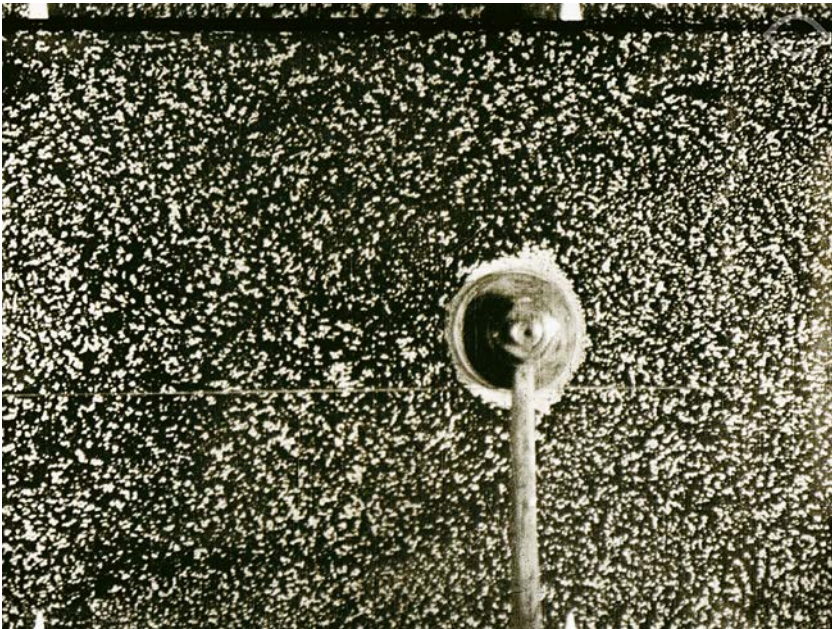
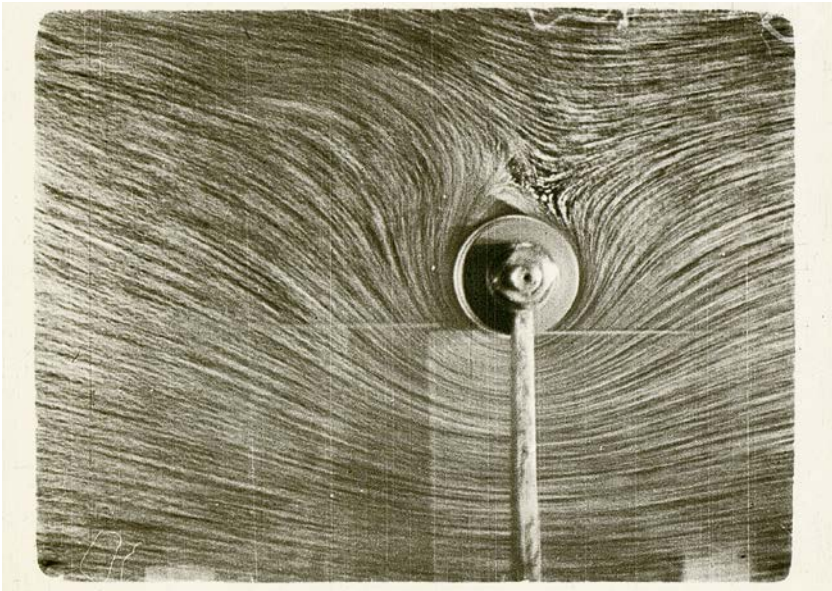


Abb. 2.8 und 2.9: Neben dem rotierenden Zylinder sind auf diesen Einzelbildern am unteren respektive oberen Rand Zeitmarken zu erkennen. Bei den Aufnahmen mit der umgebauten Kamera (Stromlinienbilder, oben) erscheinen diese aufgrund der Geschwindigkeit der bewegten Kamera verschwommen. Bei den Aufnahmen der Filmkamera (Partikelbilder, unten) verschwimmen diese nicht, weil der Wagen mit Kamera noch nicht losgefahren ist.

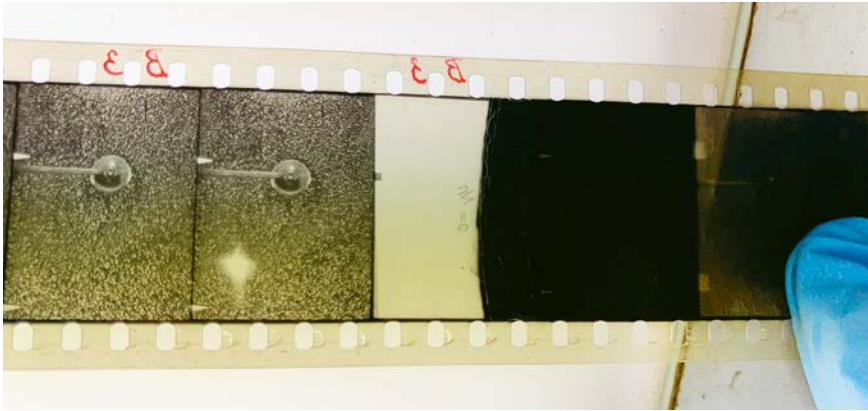


Abb. 2.10: Auf diesem Nitrozellulosestreifen, den wir im Archiv des Eye Filmmuseum gesichtet haben, sind die Zeit-Wegmarken als weiße Dreiecke am Rand der Einzelbilder gut zu erkennen.

Offenbar lässt sich aus den aufeinanderfolgenden Bildern die Bahn jedes Teilchens praktisch lückenlos weiterverfolgen, da ja jeweils nur ein Stück von $\frac{1}{8}$ der einzelnen Strecken ausfällt. Es lassen sich deshalb auch die Geschwindigkeitsänderungen (Beschleunigungen) ermitteln, aus denen dann auch Rückschlüsse auf das der Bewegung zugrunde liegende Kraftfeld gezogen werden könne.⁴²

Anstelle also den Partikeln Frame für Frame zu folgen, folgten Prandtl und Tietjens den Linien ihres hybriden Apparats und erfassten – so legt es zumindest das Zitat nahe – basierend auf den Strichlängen die Geschwindigkeitsänderungen, um so ein präzises und umfassendes Strömungsbild zu erlangen. Auch Prandtls Doktorand Nikuradse, der die Turbulenz mit fotografischen Techniken untersuchte, hatte eine ähnliche Auswertungstechnik mit Serienfotografien angewandt und die Messwerte akribisch in seiner Dissertation notiert.⁴³

Selbst wenn Prandtl und Tietjens möglicherweise vorhatten, Messwerte aus ihren Versuchen zu gewinnen und vielleicht sogar einzelne Messwerte zum Strömungsfeld um die rotierenden Zylinder gewonnen haben, sind diese weder in irgendeiner Form archivalisch überliefert, noch in einer Publikation festgehalten, geschweige denn argumentativ verwertet worden. Festhalten

⁴² Prandtl, Tietjens, »Kinematographische Strömungsbilder« (1925), S. 1051.

⁴³ Nikuradse, *Untersuchungen über die Geschwindigkeitsverteilung* (1923), siehe insbesondere die Geschwindigkeitsdiagramme Fig. 24–27b.

lässt sich daher, dass Messung erstens weder ein primäres Ziel noch ein Produkt war, und dass zweitens die Filmkamera respektive das Laufbild dabei keinen besonderen Vorteil im Vergleich zu anderen Aufnahmetechniken versprach.

Hürde: erschwerte Publizierbarkeit von Filmen

Ein zweiter Hinweis darauf, weswegen sie ihre Hybridkamera, die Linienbilder lieferte, der normalen Filmkamera zunächst vorgezogen haben, betrifft die Frage der Publizierbarkeit von Filmen. Bewegtbilder sind nicht abdruckbar. Zwar lassen sich Streifen aus Einzelbildern abdrucken, was in der Geschichte der wissenschaftlichen Filme auch häufig getan wurde, damit geht den Bildern aber auch der spezifische Eindruck von Bewegung verloren, was eben insbesondere bei Partikelbildern dazu führt, dass die einzelnen Bilder mehr oder weniger unterschiedslos wirken. Die Bewegtbilder waren daher für die zentrale Währung der Wissenschaften – den Artikel in einer Fachzeitschrift – kaum verwendbar. Zudem lassen sich Filmrollen nur unter enormen Kosten verschicken oder reproduzieren, weswegen Film auch in Korrespondenzen zwischen Wissenschaftler:innen nicht so leicht verwendbar war. Film war mit vertretbarem Aufwand nur in Vorlesungen und bei Kongressen einsetzbar.

Weil sich der Realitätseindruck von Film erst im Zuge seiner Vorführung realisiert, war er als »immutable mobile« zunächst kaum tauglich.⁴⁴ Mit dem Begriff des »immutable mobile« hat Bruno Latour darauf hingewiesen, dass die Wissenschaften auf Aufzeichnungsweisen ihrer Ergebnisse angewiesen sind, die zugleich beweglich und unveränderlich sein müssen, wodurch sie einfach vorzeigbar, lesbar und untereinander kombinierbar werden. Ganze Experimentalaufbauten wie Wind- und Wasserkanäle sind beispielsweise kaum beweglich. Wohingegen Texte, Diagramme, Tabellen, Petrischalen oder auch gedruckte Fotografien sehr mobil sind. Fotografien etwa sind flach, verfügen über veränderbare Formate, können verhältnismäßig einfach reproduziert, verbreitet, untereinander kombiniert und verknüpft werden. Und obwohl auch Fotografien erst im praktischen Umgang »real« werden und in verschiedenen Kontexten ganz Verschiedenes bedeuten können, eignet ihnen doch eine optische Konsistenz und Stabilität. Das gilt für Film nicht gleichermaßen.

44 Zuerst in Bruno Latour, »Visualisation and Cognition: Drawing Things Together«, in: *Knowledge and Society. Studies in the Sociology of Culture Past and Present* 6 (1986), S. 1–40.

Im Gegensatz zu den kinematografischen Partikelbildern konnte Prandtl die mit der umgebauten Liesegang produzierten Stromlinienbilder in zahlreichen Vorträgen und Veröffentlichungen ohne größeren Aufwand verwenden. Auch für den Austausch in der Fachcommunity waren die Bilder gut geeignet. Nach ihrer Veröffentlichung in *Die Naturwissenschaften* fragten sowohl der Münchner Physiker Jonathan Zenneck als auch der bereits erwähnte von Kármán nach Diapositiven der Stromlinienbilder, um sie in ihrem Unterricht zu benutzen.⁴⁵ Bloor bemerkt dazu: »Photographic material acted, at least sometimes, as a currency of interaction that was seen to be beneficial to both sides.«⁴⁶

Die Stromlinienbilder des rotierenden Zylinders waren auch jenseits von Fachartikeln und der Fachcommunity verwertbar. Zum Beispiel kamen sie bei der *Deutschen Verkehrsausstellung* von 1925 in München zum Einsatz. Mit 2,8 Millionen Eintritten war das die größte Ausstellung im Deutschen Reich nach dem Ersten Weltkrieg. Die Göttinger Institute präsentierten ihre Arbeit in der von der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt eingerichteten Ausstellungshalle zur »Luftfahrtwissenschaft und Praxis«.⁴⁷ Im Raum »Forschung« zeigte die AVA neben Modellen für Windkanaltests und einer Dreikomponentenwaage auch das Modell des Rotorschiffs Buckau und daneben zum Vergleich ein ähnlich großes Segelschiffmodell (Abb. 2.11). Beide Modelle waren ursprünglich für Tests im Windkanal entworfen worden und wurden dann zu Ausstellungsobjekten. Zwischen den beiden Schiffsmodellen aufgehangen war eine Serie der mit der umgebauten Liesegang angefertigten Stromlinienbilder mit rotierendem Zylinder. Daneben waren wiederum weitere einschlägige Fotografien aufgehangen, mit denen die Existenz der Grenzschicht bewiesen werden sollte. Dank der Serienbilder konnte der so wichtige Übergang zur Zirkulationsströmung im Rahmen der Ausstellung verdeutlicht werden. Der in der *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* abgedruckte ausführliche Beschreibungstext zur Ausstellung macht deutlich, dass es sich dabei um »teilweise kinematographische Aufnahmen« handelte, womit die Bilder der umgebauten Liesegang gemeint waren.⁴⁸ Mit anderen Worten: installiert war ein

45 Briefwechsel Prandtl mit von Kármán und Prandtl mit Zenneck, Dezember 1925, DLR GOAR 1362b.

46 David Bloor, »Sichtbarmachung, Common Sense and Construction in Fluid Mechanics: The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl«, in: *Studies In History and Philosophy of Science Part A* 39/3 (2008), S. 349–358, hier S. 354, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2008.06.006>.

47 Zur Ausstellung: Gustav Krupp, »Luftfahrt-Wissenschaft und Praxis«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 16/17–18 (1925), S. 326–368.

48 Ebd., S. 330.

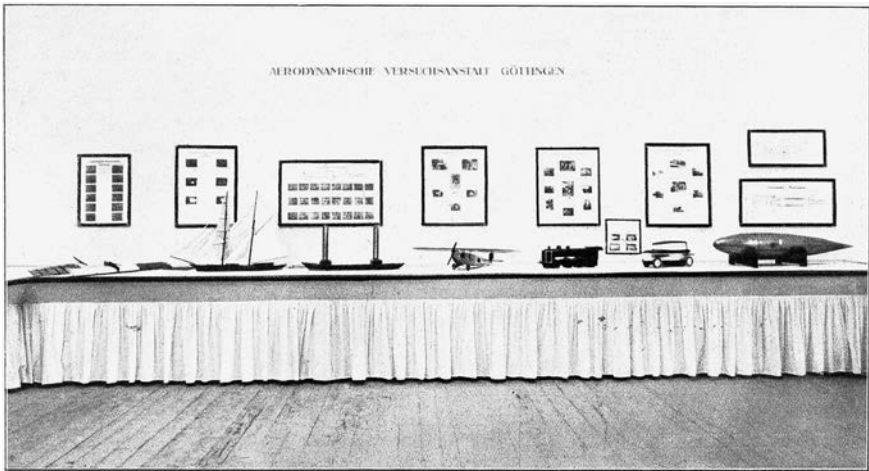


Abb. 2.11: In der Deutschen Verkehrsausstellung von 1925 in München, an der sich das KWI beteiligte, wurde ein Modell des Rotorschiffs ausgestellt (drittes von links). Dahinter sind die kinematografischen und fotografischen Bilder rotierender Zylinder aufgehängt.

Objekt-Bild-Ensemble, das visuell argumentierte, um den Zusammenhang von Magnuseffekt, Grenzschichttheorie und Rotorschiff herzustellen. Es war eine Argumentation im Raum aus Objekt und Visuellem, das zu dieser Zeit nur mittels gedruckten Bildern, nicht aber mit projizierten Filmen möglich war.

Neben der Ausstellung in München konnte Prandtl seine Strömungsbilder auf einer weiteren großen Industrierausstellung der Öffentlichkeit zugänglich machen. Auf der *Internationalen Ausstellung für Binnenschifffahrt und Wasserkraftnutzung* in Basel von 1926, vermutlich die größte Schweizer Industrierausstellung der Zwischenkriegszeit, war auch das damals neu gegründete Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung vertreten. Auf einer Fotografie (Abb. 2.12) wird ersichtlich, dass das Objekt-Bild-Ensemble in Basel eine andere Argumentation als in München verfolgte. Anstelle einer Zusammenstellung von Modellen und Bildern, mit der die verkehrstechnischen Errungenschaften der Zeit an die hydro- und aerodynamische Forschung in Göttingen zurückgebunden wurde, wurde in Basel forschungsorientierter argumentiert und ein Teil der Versuchseinrichtung ausgestellt: konkret der Absaugungskanal, mit dem Prandtl und Tietjens ein Jahr später im Strömungsfilm die Möglichkeiten der Manipulation der Grenzschicht demonstrieren sollten. Das Wasserrohr, das in der Ausstellung auf den Kanal zuführte, als auch ein feines Rinnsal



Abb. 2.12: Das KWI für Strömungs-
forschung beteiligte sich 1926 an
der Internationalen Ausstellung für
Binnenschifffahrt und Wasserkraft-
nutzung in Basel.

auf dem Boden rechts unterhalb des Kanals deuten darauf hin, dass dieser sogar betriebsstüchtig war und den Besuchenden möglicherweise eine Art von Interaktion erlaubte.

Oberhalb des ausgestellten Wasserkanals sind ferner vier schwarz gerahmte Tableaus zu sehen, die Strömungsaufnahmen enthalten. Der mittlere Rahmen mit der Nummer 209 in der unteren Reihe enthält gemäß Titel »Kinematografische Strömungs-Aufnahmen« (Abb. 2.13). Zu sehen sind wiederum drei Reihen von Bildern: in der oberen Reihe Aufnahmen der Hybridkamera des nicht-rotierenden Zylinders, in der mittleren Reihe die Aufnahmen des rotierenden Zylinders, die den Magnuseffekt verdeutlichen, und in der untersten Reihe vermutlich Bilder aus Tietjens' bereits erwähnter Dissertation zum Turbulenzproblem.

Interessant für die Frage nach den Hürden des Kinematografischen sind allerdings weniger die Tableaus, sondern die beiden schwarzen Kästen, die links und rechts den oberen Fotorahmen säumen (Abb. 2.14). Die Tatsache, dass jeweils eine Stromleitung auf die Kästen zuführt, und die Kästen eine Tiefe von einigen Zentimetern aufweisen, lassen den Schluss zu, dass sie einen Leuchtkörper gefasst haben. Ferner zeigt jeder Kasten zwei Bilder, mit auffällig hellen weißen Bildbereichen – vermutlich also von hinten

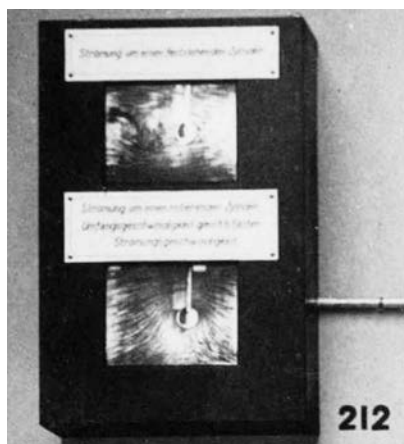
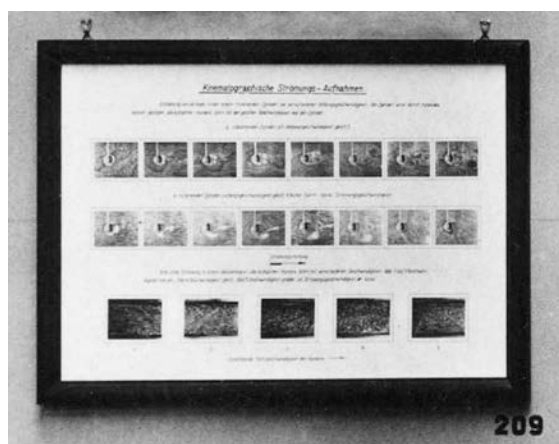


Abb. 2.13 und 2.14: Es wurden Einzelbilder der kinematografische Strömungsaufnahmen ausgestellt, teilweise als von hinten beleuchtete Glasplatten in Lichtkästen (rechts).

beleuchtete Glasplatten. Durch die Beleuchtung der Bilder treten die Markpartikel im Verhältnis zum schwarzen Untergrund – dem Wasser – als hell leuchtende Stellen hervor und betonen auf diese Weise die Bewegung stärker als in den unbeleuchteten Bildern, in denen das umströmte Objekt im Fokus steht. Diese Installation in Basel weist in eine neue Richtung: Sie ist im Vergleich zu derjenigen in München offener und experimenteller im Umgang mit visuellen Medien (den inszenierten Glasplatten) und Objekten (der inszenierten Versuchseinrichtung). Die beleuchteten Glasplatten können – auch wenn sie unbewegte Bilder zeigen – durch ihre Beleuchtung als erster Schritt in Richtung projiziertes Filmbild gedeutet werden. Vergleichbares gilt für den Wasserkanal, der die Wasserbewegungen für die Besuchenden erfahrbar macht, eine Erfahrung, die später der Film liefern wird.

Hürde: unbehagliche Punkte und Sehstil

Obwohl die erschwerte Publizierbarkeit und Handhabung der Filme eine zentrale Sorge beim Kameraumbau gewesen sein dürften, gibt es Hinweise, dass Prandtl und Tietjens weitere Gründe dafür hatten, die Stromlinienbilder den Punktbildern vorzuziehen. So führte Tietjens bei der Tagung der WGL 1925, die anlässlich der Verkehrsausstellung in diesem Jahr ebenso in München stattfand, sowohl die Bilder der nicht-umgebauten als auch die

der umgebauten Liesegang vor – und zwar beide mittels eines Projektionsapparats und entsprechend im Laufbild.⁴⁹ Um das technisch überhaupt zu ermöglichen, kopierte Tietjens die mit der umgebauten Kamera produzierten Bilder achtmal hintereinander auf den vorzuführenden Positivfilm. Ergebnis bei der Vorführung war ein Film, der gewissermaßen einen Bewegungseindruck in kleinen Sprüngen bot, eine projizierte Reihe von Serienbilder. Er erstellte ebenso Zwischentitel mit Angaben zur Rotationsgeschwindigkeit der Zylinder.

Der zu dieser Präsentation erschienene Artikel von Tietjens, »Kinematographische Strömungsaufnahmen von rotierenden und nicht rotierenden Zylindern«, lässt sich als Vorstufe zu dem bereits diskutierten Artikel aus den *Naturwissenschaften* verstehen. Der Artikel von Tietjens lässt sich als Vorstufe zu dem bereits diskutierten Artikel verstehen. Wobei die kleinen Unterschiede zwischen den beiden Texten es erlauben, den Prozess der Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten des Mediums am Göttinger Institut zu rekonstruieren. Ein Unterschied besteht darin, dass die Skepsis gegenüber der Projektion bei Tietjens Artikel weniger ausgeprägt ist. Vielmehr, so Tietjens, könne auch der Film der umgebauten Kamera »einen lebendigen Eindruck des zeitlichen Ablaufes der gesamten Strömungserscheinung« geben, wenn man ihn »durch einen gewöhnlichen Filmwiedergabeapparat gehen lässt.« Auch wenn dann, wie Tietjens zugesteht, »die Bewegung der Strömung etwas ruckweise erscheinen (in Art der Trickfilme)« würde.⁵⁰ Hingegen schreiben Prandtl und Tietjens später, wie bereits zitiert, dass es gar nicht der »Zweck solcher Aufnahmen ist [...], sie im Laufbild vorzuführen.«⁵¹ Für Tietjens allerdings lag der »große Vorzug dieses Zeitfilms gegenüber dem gewöhnlichen Film« eher noch darin,

daß ein beliebiges Stadium des Strömungsvorganges festgehalten werden kann einfach dadurch, daß man den Zeitfilm im Wiedergabeapparat stehen läßt; das dabei auf der Leinwand erscheinende Stromlinienbild gibt dann einen guten Einblick in den gerade herrschenden Strömungszustand, während das Einzelbild eines gewöhnlichen Filmes die Aluminiumteilchen

49 Anonym, »III. Kurzer Bericht über den Verlauf der XIV. Ordentlichen Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt (WGL) vom 9. bis 11. September 1925 in München«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1925* 13 (1926), S. 17–22, hier S. 22.

50 Oskar Tietjens, »Kinematographische Strömungsaufnahmen von rotierenden und nicht rotierenden Zylindern«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1925* 13 (1926), S. 100–102.

51 Prandtl, Tietjens, »Kinematographische Strömungsbilder« (1925), S. 1050.

nur als Punkte wiedergibt und daher nichts weiter erkennen lässt als den augenblicklichen Zustand der Bestreuung.⁵²

Tietjens stellt hier wiederum das Einzelbild dem Laufbild gegenüber. Verbunden ist damit aber die entscheidendere Gegenüberstellung von Punkten und Linien. Es ist folglich nicht (nur) das Laufbild, dem Prandtl und Tietjens entkommen wollten, sondern es sind vielmehr auch die Punkte, mit denen sie haderten, und es war die Linie, nach der sie strebten.⁵³

Daran anschließend lässt sich nun eine dritte Vermutung bezüglich des Unbehagens an den kinematografischen Bildern formulieren: die mit den Bewegtbildern verbundenen Punkte widersprachen dem gängigen Sehstil der Strömungsforschung jener Zeit. Dieser basierte auf der Linie, was wiederum mit den medialen Repräsentationsformen der Strömung zusammenhängt.

Der Erkenntnistheoretiker Ludwik Fleck führte diesen Gedanken zur Verbindung von Sehen und Denkstilen wie folgt aus: »Sehen heißt: im entsprechenden Moment das Bild nachzubilden, das die Denkgemeinschaft geschaffen hat, der man angehört.«⁵⁴ Scott Curtis hat dies wiederum auf den wissenschaftlichen Film und die Verwendung der Kamera übertragen. Er argumentiert, »that a discipline's successful appropriation of film hinged on its ability to accommodate the new technology to its mode of expert viewing.«⁵⁵ Und weiter, »that the acceptance of any new (media) technology depends in part on correspondence between some set of its formal features and the logic of the discipline.«⁵⁶ Prandtl und Tietjens' Versuche mit Zelluloid zeigen sowohl, welcher »mode of expert viewing« in der Strömungsmechanik das Sehen anleitete, als auch inwieweit dieses Sehen der Logik der Filmkamera ent- oder eben widersprach.

Das zentrale visuelle Dispositiv der Strömungslehre basierte bis dato auf der Linie. Bereits die frühen schematischen Darstellungen von Strömungen in Diagrammen oder Zeichnungen – etwa die Darstellung des hydrodynamischen Paradoxes durch Jean D'Alembert von 1752 – stellten Strömungen

52 Tietjens, »Kinematographische Strömungsaufnahmen« (1926), S. 102.

53 Vgl. für eine Diskussion der Punkte und Linien in den Strömungsaufnahmen auch Mario Schulze, Sarine Waltenspül, »From Images of Lines to Images of Particles. The Role of the Film Camera in Flow Visualization«, in: *Yearbook of Moving Image Studies (YoMIS) IV* (2019), S. 166–191.

54 Ludwik Fleck, »Über die wissenschaftliche Beobachtung und die Wahrnehmung im Allgemeinen«, übersetzt aus dem Polnischen von Bogusław Wolniewicz, Thomas Schnelle, in: Ders., *Denkstile und Tatsachen. Gesammelte Schriften und Zeugnisse*, hg. von Sylwia Werner, Claus Zittel, Berlin: Suhrkamp 2011 [1935], S. 211–238, hier S. 232.

55 Scott Curtis, *The Shape of Spectatorship. Art, Science, and Early Cinema in Germany*, New York: Columbia University Press 2015, S. 6.

56 Ebd., S. 23.

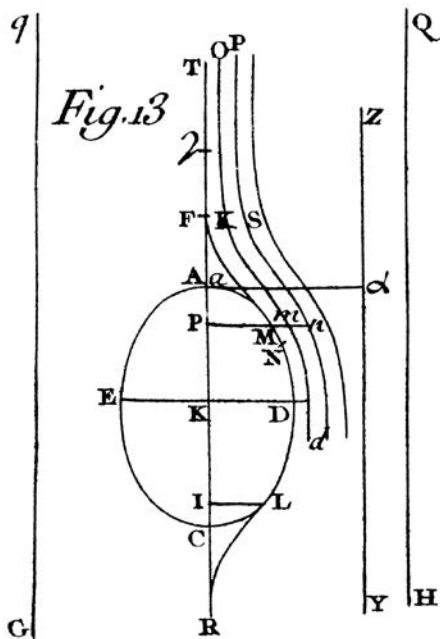


Abb. 2.15: Bereits Jean D'Alembert verwendete in seiner schematischen Darstellung von Strömungsbewegungen um einen Körper von 1752 Linien, um die Strömung zu repräsentieren.

mittels paralleler Linien dar (Abb. 2.15).⁵⁷ Wie die Kunsthistorikerin Inge Hinterwaldner detailliert herausgearbeitet hat, orientierten sich dann auch die ersten fototechnischen Visualisierungsverfahren des bereits erwähnten Marey und wenig später auch die von Ahlborn an der Linie. Sie schreibt: »Ahlborn treated all recording techniques in such a way that lines (path, force, flow, suction, backwater, and zero lines) are the carriers of information.«⁵⁸ Die Linien hielten sich folglich in der Geschichte der Fluidodynamik über verschiedene Darstellungsmodi und -medien wie Zeichnung oder Fotografie hinweg durch. Bei den Linienbildern lässt sich von einer Abbildungstradition

57 Jean Le Rond d'Alembert, *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides*, Paris: David 1752, Tafel 1.

58 Inge Hinterwaldner, »Model building with wind and water: Friedrich Ahlborn's photo-optical flow analysis«, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 49 (2015), S. 1–17, hier S. 15, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2014.10.003>; vgl. auch Dies., »Parallel Lines as Tools for Making Turbulence Visible«, in: *Representations* 124/1 (2013), S. 1–42, <https://doi.org/10.1525/rep.2013.124.1.1>; Dies., »Lehren und die daraus gezogenen Linien«, in: Philipp Stoellger, Marco Gutjahr (Hg.), *Visuelles Wissen. Ikonische Prägnanz und Deutungsmacht*, Würzburg: Königshausen & Neumann 2014, S. 247–279.

sprechen, die einer bestimmten (stets medial vermittelten) Wahrnehmungskonvention entsprach und zu einer überindividuellen bildlichen Prägung beitrug. Genau diese Linien gingen aber bei den Aufnahmen mit der Filmkamera aufgrund der kurzen Belichtungszeit verloren.

Das Sehen Prandtls und Tietjens' schien so sehr auf die Linie getrimmt gewesen zu sein, dass sie die Punktbilder nicht akzeptieren wollten – respektive nicht akzeptieren konnten – und kurzerhand ihre Filmkamera umbauten. Aus dieser Perspektive verwundert es nicht, dass ihnen zufolge der Hauptvorteil ihres Kameraumbaus darin lag, dass die Einzelbilder danach deutliche »Stromlinienbilder« zeigten. Auf Landeckers Befund zurückkommend, dass das praktische Wissen und die Wahrnehmung der Forschenden die Technologien modifizieren und transformieren, lässt sich hier festhalten: Der Sehstil der Linie war ein entscheidendes Movens des Umbaus der Kamera. In Prandtls und Tietjens' Apparat materialisiert sich folglich der Linienstil. Die visuelle Epistemologie, dass sich Partikel in einer Strömung entlang von Bahnen bewegen und dies durch eine Stromlinie dargestellt werden kann, bildete den Rahmen, der die Möglichkeiten des Sehens anleitete und zugleich begrenzte.

Es wäre entsprechend verkürzend, den Sehstil bloß psychologisch-mentalistisch zu verstehen, als Ausdruck eines geteilten Gedankensystems. Vielmehr ist davon auszugehen, dass nicht nur die Mentalität den Stil, sondern der visuell-materielle Stil auch selbst gedankenformend wirkte und bestimmte Kollektive erst miterzeugte.⁵⁹ Die materielle und formale Gestalt des Linienbilds bestimmte die mentale Disposition, in dem Fall die Disposition, nach Linien zu suchen, Punkten zu misstrauen und Linien selbst gegen die Mittel des Apparats zu erstellen.

Eine weitere Gefahr des Stilbegriffs besteht darin, die Bildgeschichte als linearen Prozess zu konzeptualisieren, der sich aus den formalen Qualitäten der Bilder selbst verstehen lässt. Es kann jedoch nicht bildimmanent abgeleitet werden, wie Ausbrüche aus dem Stil möglich werden, wie sich ein neuer Stil entwickelt – weder in der Kunst, noch in den Wissenschaften. Das Bild der sich bewegenden Punkte hatte keine Tradition und stellte daher eine Herausforderung dar. Dem auf die Linie getrimmten Sehstil eignete folglich eine gewisse Falsifikationsresistenz. Das zeigt sich auch daran, dass Prandtl und Tietjens den Punktbildern zunächst misstrauten. Das bedeutet aber

59 Horst Bredekamp hat den Fleck'schen Begriff des Denkstils als mentalitätsgeschichtliche Kategorie kritisiert und einen Stilbegriff im materiellen Sinne dagegengesetzt: Horst Bredekamp, »Bildbeschreibungen. Eine Stilgeschichte technischer Bilder?«, in: Ders., Birgit Schneider, Vera Dünkel (Hg.), *Das Technische Bild. Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*, Berlin: Akademie Verlag 2008, S. 36–47, hier S. 37–38.

nicht, dass es keine Möglichkeiten gab, aus diesem Stil auszubrechen. Das Misstrauen Prandtls und Tietjens' den Punktbildern gegenüber sollte sich nicht lange halten, wie die weitere Geschichte zeigen wird.

Filmproduktion

In den auf die Verkehrsausstellung und die Binnenschiffahrtsausstellung folgenden Monaten und Jahren begannen Prandtl und Tietjens auf die laufenden Punktbilder zu setzen. In den Tätigkeitsberichten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft für 1926 und 1927 heißt es:

[Die] Versuchseinrichtungen der Abteilung für Strömungsforschung wurden vervollständigt, und zwar durch eine größere Einrichtung mit Wassertank zur photographischen und kinematographischen Verfolgung von Strömungsvorgängen, sowie durch verschiedene kleinere Apparate.⁶⁰

In diesen Experimentalsettings kam die Liesegang weiterhin zum Einsatz. Zusätzlich schafften sich Prandtl und Tietjens Ende 1925 einen handelsüblichen Apparat an, der gewissermaßen exemplarisch für die beginnende Demokratisierung des Filmemachens in den 1920er Jahren steht: eine Ica Universalkinamo, die der Hersteller als Apparat bewarb, der »ausschließlich für den Amateur, Wissenschaftler und alle anderen, die die Kinematographie nicht als Beruf betreiben, bestimmt ist.«⁶¹ Mit der Kinamo und der Liesegang produzierte Prandtl mit wechselnden Mitarbeitern (erst Tietjens, dann W. Müller, später auch mit Jacob Den Hartog) bis Mitte der 1930er Jahre Filme über die Wirbelbildung und Turbulenz. Die Rolle von Tietjens erscheint im Rückblick tragisch, aber typisch für die Hierarchien des Labors. Während Tietjens und Prandtl den Artikel in den *Naturwissenschaften* noch gemeinsam verfasst hatten und mehr noch Tietjens die frühere Version des Artikels als Einzelauteur verfasst hatte, fügte Prandtl in seinem Artikel zur Vorführung des fertigen Films zwei Jahre später nur noch die Bemerkung ein, dass er die Aufnahmen seinem »Mitarbeiter Dr.

⁶⁰ Adolf von Harnack, Friedrich Glum, »Tätigkeitsbericht der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften für das Halbjahr vom 1. Oktober 1926 bis Ende März 1927«, in: *Die Naturwissenschaften* 15 (1927), S. 649–653.

⁶¹ Ica (Hg.), *Ica Cameras und Zubehör*, Dresden: Verlag der Ica 1925, S. 5, ebenso S. 108–109. Mehr zur Ica: Michael Buckland, *Emanuel Goldberg and His Knowledge Machine: Information, Invention, and Political Forces*, Westport, CT: Libraries Unlimited 2006, S. 81–98.

Tietjens« »verdanke«. ⁶² In den Begleitschriften zu den Lehrfilmversionen von 1936 tauchte Tietjens dann nicht mehr auf und wurde damit endgültig zum »invisible technician« degradiert. ⁶³

Die meisten Aufnahmen für die erste Version des Göttinger Strömungsfilms entstanden vermutlich im April 1927, kurz vor seiner Premiere in London. Im Tätigkeitsbericht sind die Aufnahmen als erster Punkt aufgeführt: »Mit dem Wassertank zur photographischen und kinematographischen Verfolgung von Strömungsvorgängen, sind verschiedene Strömungsbilder und Filme aufgenommen worden, hauptsächlich über die Entstehung von Wirbeln an bewegten Körpern.« ⁶⁴ Das Unbehagen dem Medium Film gegenüber scheint folglich langsam einer Faszination für seine Einsatzmöglichkeiten gewichen zu sein, und die enttäuschten kinematografischen Hoffnungen den kinematografischen Freuden.

Den Fragen, woher dieser Sinneswandel kam, was konkret dazu geführt haben könnte, dass Prandtl dem Medium Film mehr Vertrauen schenkte und wie der Film gar zum Teil seiner Theorie werden konnte, werden wir im folgenden Kapitel nachgehen. Es wird sich zeigen, dass das bisher beschriebene Gefüge (andere mögliche Bezeichnungen wären Aktanten-Netzwerk, relationale Assemblage, »mangle of practice« etc.) aus neuem Institut, dem auf die Filmkamera eingestellten Experimentalsystem, dem theoretischen Anliegen, dem Sehstil und dem Begehren nach der lückenlosen Aufzeichnung sowie nach der technisch-anwendbaren Kontrolle des ephemeren Strömens noch nicht genügt, um die Produktionsbedingungen des Films hinreichend zu erfassen. Seine Qualitäten als wissenschaftliches Medium konnte der Film erst bei seinen Vorführungen ausspielen. Dabei treten insbesondere jene Aspekte hervor, auf die die feministische Wissenschaftsforschung immer wieder hingewiesen hat: Wissenschaft ist eine verkörperlichte und performative Praxis der Komposition von Realitäten, in der die Trennungen zwischen Forschungssubjekt und Forschungsobjekt, zwischen Abbildung und Phänomen, zwischen Evidenz und Argumentation in vielfältigen Handlungsweisen stets von neuem etabliert werden.

62 Ludwig Prandtl, »Vorführung eines hydrodynamischen Films«, in: *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 7 (1927), S. 436–437; Ders., »Vorführung eines hydrodynamischen Films«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1927 (1927), S. 133.

63 Steven Shapin, »The Invisible Technician«, in: *American Scientist* 77 (1989), S. 554–563.

64 Adolf von Harnack, Friedrich Glum, »Tätigkeitsbericht der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (April 1927 bis März 1928)«, in: *Die Naturwissenschaften* 16 (1928), S. 427–432, hier S. 429, <https://doi.org/10.1007/BF01459033>.

Kapitel 3

Vortragsfilm, 1927–1930

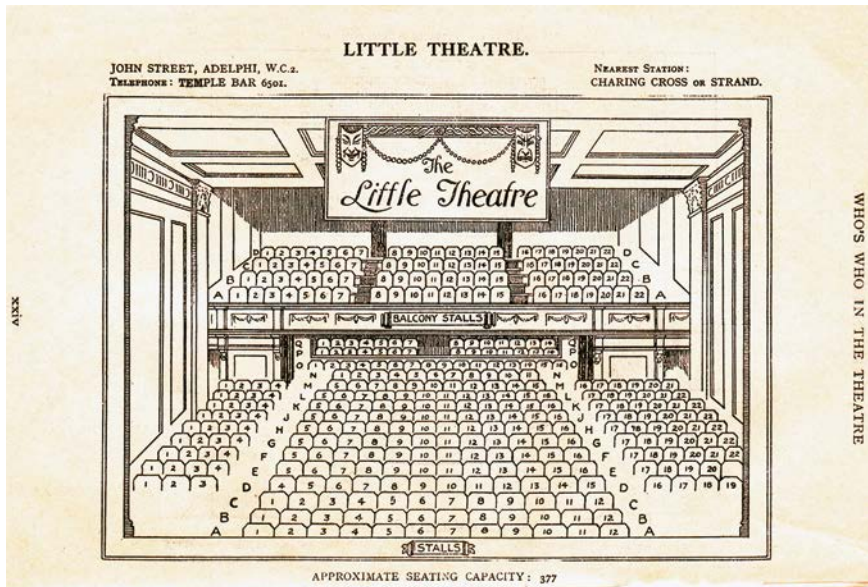


Abb. 3.1: Die Erstaufführung des Films fand in einem Londoner Theater mit über 20 Sitzreihen statt.

Es war der 16. Mai 1927, ein Abend im Little Theatre des Theatre of the Royal Society of Arts, Adelphi, ein Saal mit Bühne, aufsteigenden Rängen und über 300 Sitzplätzen (Abb. 3.1). Auf der Bühne wurde an diesem Abend kein Theaterstück gespielt. Die Mitglieder der Royal Aeronautical Society haben sich zusammengefunden, um der alljährlichen Wilbur Wright Memorial Lecture sowie der dazugehörigen Verleihung der Gold Medal ihrer noch verhältnismäßig jungen Society beizuwohnen. Hinter dem Rednerpult stand ein Wissenschaftler – und zum ersten Mal in der Geschichte der Society war es mit Ludwig Prandtl ein deutscher Wissenschaftler, dem die Ehre dieses Anlasses zuteil wurde.

So viel lässt sich aus den Quellen rekonstruieren. Auch das bei diesem Anlass auf der Bühne (zumindest offiziell) Gesprochene lässt sich

rekonstruieren.¹ Das gilt hingegen nicht für das, was zwischen den Zeilen gesagt wurde und was die Personen im Raum taten. Von diesen Dingen gibt es weder Bilder noch Berichte. Nichtsdestotrotz ist auch all das Ungesagte wichtig für die Geschichte des Films.

Wie Prandtl also vor dem Publikum stand, hat er das englische Geraune um sich herum aus Nervosität vermutlich nur in Bruchstücken wahrgenommen. Sehr wahrscheinlich war er in Gedanken bereits bei dem, was folgen wird: Immerhin hatte er die letzten Monate auf diesen Tag hingearbeitet. Gleichzeitig sah er sich mit vielen Hürden konfrontiert – allen voran die englische Sprache, die ihm Probleme bereitete. So setzte er seinen Vortrag mit der folgenden Entschuldigung an: »Only I must ask you to be so kind as to extend to me your indulgence when you hear a word badly pronounced or wrongly accented.«² Schließlich las er nur den Anfang seines Textes und gibt diesen dann an Major A. R. Low ab, der Prandtls Vortrag zu Ende las.³

Wir wissen nicht, ob Prandtl dabei neben Major Low stehen blieb oder ob er sich hinsetzte. Wir wissen auch nicht, wie Prandtl sich dabei fühlte. Bedauerte er, dass er seine wissenschaftlichen Errungenschaften nicht selbst präsentieren konnte? Schämte er sich sogar? Gleichzeitig musste ihm bewusst gewesen sein, dass er bei der Lecture nicht mit einem eloquenten Vortrag zu bestechen vermochte. Prandtl hatte andere Vorbereitungen getroffen, um seine mangelnde Präsenz auf der Bühne zu kompensieren.

Gegen Ende der Lecture gingen die Lichter aus. Es wurde dunkel im Little Theater. Im Transkript heißt es: »I should now like to show you a short film in which you can see the development in time of the phenomena already familiar to you from the photographs you have seen.« Die Spannung im Saal stieg. Ein Rattern, Klacken und Schleifen setzte ein. Dann flackerte etwas auf. Die Aufmerksamkeit der Society-Mitglieder war nach vorne gerichtet. Auf einer Leinwand erschienen tausende weißer Punkte auf einem – aufgrund der vielen Punkte – fast nicht mehr als schwarz zu erkennenden Grund. Major Low alias Prandtl erklärte: »The first film shows you the configuration of flow round a flat plate, starting from rest and continuing till steady motion is established.« Für drei Minuten wurde das Gesehene in einfachen, deskriptiven Worten erklärt. In diesen drei Minuten reduzierte sich die Wahrnehmung der Society-Mitglieder auf Blicke. Das Publikum richtete alle

1 Anonym, »Wilbur Wright Memorial Lecture, 16th May 1927«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 718–720.

2 Ludwig Prandtl, »The Generation of Vortices in Fluids of Small Viscosity«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 720–741, hier S. 720.

3 Prandtl, »The Generation of Vortices« (1927), S. 720.

Augenpaare nach vorne. Es nahm die Perspektive Prandtls auf und sah, was er sie sehen lassen wollte: sein Bild der Strömung.

An dem Abend wurde der Film, von dem dieses Buch handelt, zum ersten Mal vor einem größeren Publikum aufgeführt. Während wir im ersten Kapitel dafür plädiert haben, die Bilder als solche in der entstehenden Disziplin der Fluidodynamik ernst zu nehmen, und im zweiten Kapitel darum bemüht waren, den epistemischen Status der Bewegungsbilder während ihrer Produktion zu bestimmen, widmen wir uns im dritten Kapitel den Vorführungen des Films, der erst nach und nach und im Zusammenhang mit den ersten Vorführungen zu *einem* Film wurde. Damit wechseln wir vom Labor als einem Ort der Wissensproduktion zu den wissenschaftlichen Präsentationen als spezifischen Momenten der Wissensproduktion. Die Wissenschaftssoziologen Michael Lynch und Steve Woolgar beschrieben in den 1980er Jahren eine Verlagerung des Interesses der historisch Forschenden an Formeln und Versuchsanordnungen hin zur »*embodied performance of experimentation*«. ⁴ In Anlehnung daran werden wir im Folgenden die *embodied performance of presentation* befragen. Wir fokussieren eines der zentralen Medienspezifika von Film, nämlich dessen Realisation in der Projektion, also in der Vorführung als bewegtes Laufbild. Für die Verwendung von Film in wissenschaftlichen Kontexten hat das zahlreiche nicht-triviale Folgen, die sich anhand der frühen Vorführungsgeschichte in der Zwischenkriegszeit verdeutlichen lassen.

Im ersten Teil des Kapitels werden wir rekonstruieren, wie die Aufführungen die Rezeption der Prandtl'schen Theorien steuerten. Ein Fokus auf die performativen Konstellationen von Film, Vortrag und Raum macht deutlich, dass insbesondere in Bezug auf Film die Vorstellung eines einmal veröffentlichten und damit feststehenden Wissens zu kurz greift. Stattdessen festigten Formen der wiederholten, geregelten und rückgekoppelten Präsentation das fluiddynamische Wissen, das der Film transportierte – nicht nur für die Zuhörenden und Zuschauenden, sondern auch für den Wissenschaftler, also Prandtl selbst. Denn die Grenzschicht war mit der Publikation von 1904 nicht einfach in der Welt, sondern wurde von Prandtl unter anderem in seinen Filmperformances mit jeder Aufführung hervorgebracht. Mit den zahlreichen Vorführungen änderten sich die Begriffe zur Beschreibung der Grenzschicht. Im zweiten Teil geht es darum, wie diese Vorführungen wiederum auf Prandtl selbst zurückwirkten. In Hinblick auf die bereits diskutierte Idee, dass Filme eine Biografie haben, zeigt sich hierbei, wie Film und Filmemacher sich in den späten 1920er

4 Michael Lynch, Steve Woolgar, »Introduction: Sociological orientations to representational practice in science«, in: Dies. (Hg.), *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, MA: MIT Press 1988, S. 1–18, hier S. 8.

Jahren co-biografisch zueinander verhielten: Der Film trug zu Prandtls Subjektivierung als wissenschaftlicher Showman bei. Im dritten Teil geht es um die Rolle des Films und der Performances Prandtls im Spannungsfeld von wissenschaftlichem Internationalismus und nationalen Interessen. Dabei erfährt der Film eine Politisierung, die sich im Nationalsozialismus zuspitzen wird.

Ein visueller Kongress: das Begehren nach Bewegtbild und Beifall

Wie kam Prandtl dazu, sein im vorherigen Kapitel beschriebenes Unbehagen den Bewegtbildern gegenüber hinter sich zu lassen und in London einen Film vorzuführen? Einen Hinweis darauf liefert der 2. Internationale Kongress für technische Mechanik, der 1926, ein Jahr vor der Premiere, an der ETH in Zürich stattfand.

In den 1920er Jahren war die wissenschaftliche Welt von Ludwig Prandtl und seiner Fachkolleg:innen eine andere geworden: internationaler und visueller. Auch die Selbstdefinition der Profession der Mechaniker und Aerodynamiker war weiter fortgeschritten. Die Internationalen Kongresse für technische Mechanik waren dabei ein wichtiger Austragungsort. Bei ihnen traf sich die »international elite of applied mathematicians and theory-minded mechanical engineers«. ⁵ Sie fanden seit 1924 regelmäßig statt und gelten als Vorläufer der 1946 gegründeten International Union of Theoretical and Applied Mechanics, IUTAM. Eckert schreibt, dass die Kongresse nicht nur während des Boykotts der Deutschen Wissenschaft durch die Entente nach dem Ersten Weltkrieg ins Leben gerufen wurden, sondern ebenso als direkte Reaktion auf diesen Boykott zu verstehen sind, der bis 1926 dauerte. ⁶ 1922 organisierten Theodore von Kármán und der Mathematiker Tullio Levi-Civita eine private Zusammenkunft in Innsbruck, die als »nullter« Kongress gesehen wird. Der erste offizielle Kongress in Delft 1924 fand explizit auf neutralem Boden statt, und zwar unter Mitwirkung von Prandtl und von Kármán. Auch der zweite Kongress in Zürich verfolgte explizit »das Ziel der Internationalität« ⁷ und fand nicht zuletzt deswegen in einem »neutralen Staat[]« statt. ⁸

5 Michael Eckert, »Strategic Internationalism and the Transfer of Technical Knowledge: The United States, Germany, and Aerodynamics after World War I«, in: *Technology and Culture* 46/1 (2005), S. 104–131, hier S. 126.

6 Ebd.

7 Anonym, »2. Internationaler Kongress für technische Mechanik in Zürich«, in: *Schweizerische Bauzeitung* 87/88 (1926), S. 198–199, hier S. 199.

8 Rede von Charles Andreae in: Ernst Meissner (Hg.), *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. X–XII, hier S. X.

Dennoch waren die Kongresse von Beginn an durch die Kollision zwischen nationalen Interessen und einem wissenschaftlichen Internationalismus geprägt: So erklärte Prandtl sich erst dann bereit, dem Internationalen Kongresskomitee beizutreten, nachdem die französischen Wissenschaftler angekündigt hatten, die Veranstaltung zu boykottieren. Fortan fungierte Prandtl als ambitionierter Mitorganisator der Kongresse.⁹

An den Kongressen lässt sich zudem nachvollziehen, wie sich der Umgang mit visuellem Material innerhalb der Community in den 1920er Jahren veränderte und wie Prandtl immer stärker in seine Rolle als visueller Strömungsforscher hineinwuchs. Der Kongress in Zürich war mit 250 Teilnehmenden aus 22 Ländern nicht nur eine der größten und internationalsten Veranstaltungen, die bis dato an der ETH durchgeführt wurden.¹⁰ Er war im Vergleich zum Vorgängerkongress in Delft 1924 insbesondere auch ein visueller Kongress, auf dem nicht nur viele Bilder gezeigt und in dem Kongressband abgedruckt, sondern auch einige Filme vorgeführt wurden. So berichteten Henri Bénard (Paris), dessen Bilder bereits im ersten Kapitel Thema waren,¹¹ der Meteorologe Sakuhei Fujiwhara (Tokio)¹² und der Maschinenbauer Franz Prášil (Zürich)¹³ ausführlich über die von ihnen mitgebrachten Filme.

Dass diese Vorführungen überhaupt möglich waren, ist auf die Initiative Prandtls zurückzuführen, der sich der technischen wie organisatorischen Hürden der Filmvorführung annahm: In Vorbereitung auf den Kongress wies er den Vorsitzenden des Organisationskomitees, Ernst Meissner, darauf hin, dass dieser die Referenten über die »Vorführungsmittel in den Sälen der einzelnen Sektionen« informieren solle. Explizit ging es Prandtl dabei um Informationen zu »Projektionsapparate[n] mit der Angabe des größten zulässigen Bildformates, kinematographische[n] Einrichtungen mit oder ohne Stillstand- und Rücklaufeinrichtung«. Ferner wünschte sich Prandtl, dass in dem Hauptsaal ein Projektionsapparat mit Rücklaufeinrichtung steht, da er selbst vor hätte, »einige Filme von turbulenten Bewegungen« zu zeigen.¹⁴ Meissner antwortete, dass für »ein Kino, wenn irgend möglich mit

9 Eckert, »Strategic Internationalism« (2005), S. 130.

10 Anonym, »2. Internationaler Kongress« (1926), S. 198–199, hier S. 198.

11 Henri Bénard, »Sur les lois de fréquence des tourbillons alternés détachés à l'arrière d'un obstacle mobile«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik* (1927), S. 495–501.

12 Sakuhei Fujiwhara, »An Experiment on the Behaviour of Two Vortices in Water«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik* (1927), S. 506.

13 Franz Prášil, »Verschiedene Strömungserscheinungen«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik* (1927), S. 474–476.

14 Prandtl an Meissner, 17. 3. 1926, AMPG III/61/2133.

Rücklaufvorrichtung« gesorgt werde.¹⁵ In Anbetracht der technischen und sicherheitstechnischen Herausforderungen, die die Vorführung von den zu jener Zeit verwendeten 35mm-Nitrozellulosefilmen mit sich brachte, ist das bemerkenswert: Filme wurden nicht einfach auf gut Glück zu Kongressen mitgebracht, Vorführapparate waren weder einfach verfügbar, noch konnten sie von allen bedient werden. Filme vorzuführen, bedurfte eines gezielten Willens und eingehender Planung.

Die Aufnahmen für Prandtls Strömungsfilm existierten zur Zeit des Zürcher Kongresses – bis auf die im vorherigen Kapitel beschriebenen Aufnahmen des rotierenden Zylinders – noch nicht. Im Anschluss an seinen Vortrag *Über die ausgebildete Turbulenz* führte Prandtl allerdings einen Film vor, den sein Doktorand Johann Nikuradse nach der Ahlborn'scher Methode aufgenommen hatte. Der Film zeigt wackelige, kontrastarme Aufnahmen vom Umschlag einer laminaren in eine turbulente Strömung (Abb. 3.2). Dabei nimmt die fokussierte Strömung nur etwa ein Drittel des Bildes ein, der Rest zeigt Teile der Kanalkonstruktion oder diffuses Schwarz. Ferner sind zahlreiche Bildartefakte (die allerdings auch von später stammen können) im Film zu sehen, genauso wie Hände, die in das Bild eingreifen. Kurz gesagt, ästhetisch war dieser Film eine Enttäuschung.¹⁶

Darüber, mit welchen Hoffnungen Prandtl seine Filmvorführung verbunden hatte, lässt sich nur spekulieren: Hatte er gehofft, mit Nikurades Film einen Beitrag zur Turbulenztheorie zu liefern? Wollte er seiner Community mit visuellem Material gefallen? Oder erwartete er selbst nicht viel von der Vorführung? In seinem Vortrag zeigte er sich jedenfalls resigniert bezüglich der Filmaufnahmen:

Derartige Aufnahmen sind bis jetzt nur zu statistischen Ermittlungen über die Verteilung des zeitlichen Mittelwertes der Geschwindigkeit und über die Größe der vorkommenden Geschwindigkeitsschwankungen benutzt worden, sonst haben wir aus ihnen noch nicht viel lernen können.¹⁷

15 Meissner an Prandtl, 29. 7. 1926, AMPG III/61/2133.

16 Ferner spricht Prandtl von weiteren »Versuche[n] über die Entstehung der Turbulenz«, »über die später an anderem Orte zusammenhängend berichtet werden soll.« (Ludwig Prandtl, »Über die ausgebildete Turbulenz.« in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik* (1927), S. 62–74, hier S. 74.) Über diese Aufnahmen ist uns trotz ausführlicher Recherchen nichts Weiteres bekannt. Es ist möglich, dass 1926 bereits frühe Aufnahmen gezeigt wurden, die später zu Teilen des Strömungsfilms wurden. Sowohl birgt das Medium Film diese Möglichkeit zum Umarbeiten von Teilen, als auch die Bildpraxis in der Wissenschaft folgt nicht einer Logik der Uraufführung, wie es bei Kinofilmen der Fall ist.

17 Prandtl, »Über die ausgebildete Turbulenz« (1927), S. 62.

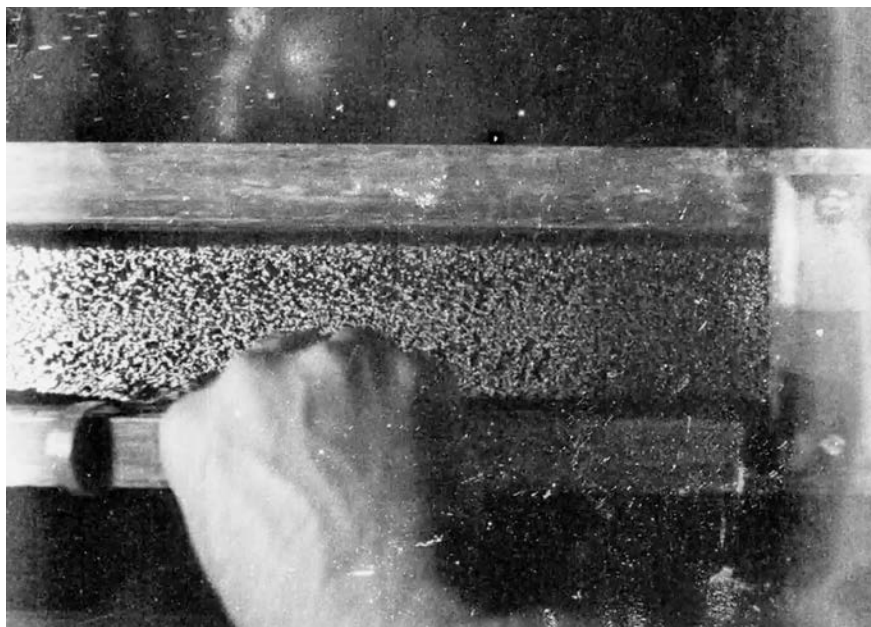


Abb. 3.2: Prandtl führte am 2. Internationalen Kongress für technische Mechanik in Zürich 1926 noch keinen eigenen Film vor, sondern einen Turbulenzfilm seines Doktoranden Johann Nikuradse.

Gerade in Anbetracht dieser Resignation, die er zu Beginn seines Vortrags vor versammeltem Publikum zum Ausdruck brachte, erscheint es bemerkenswert, dass er sich im Vorfeld für die Filmvorführungen eingesetzt hatte. Vielleicht, so lässt sich weiter spekulieren, war Film zwar das richtige Medium und Mittel für die sich etablierende Gilde technischer Mechaniker, doch es war (noch) der falsche Film für Prandtl? Diese Vermutung lässt sich stützen: Ein anderer auf dem Kongress gezeigter Film erhielt bei seiner Vorführung viel Aufmerksamkeit. Dem Konferenzbericht zufolge hätten »insbesondere die Bildpräsentationen des Altmeisters der Strömungslehre, Prof. Prášil, Zürich, zu spontanen Beifallsäußerungen Anlaß« gegeben.¹⁸

Halten wir hier kurz inne: spontaner Beifall bei einer wissenschaftlichen Präsentation? Das ist bemerkenswert in Anbetracht der konzentrierten

¹⁸ Th. Pöschl, »Zweiter Internationaler Kongreß für Technische Mechanik in Zürich (12. bis 17. September 1926)«, in: *Die Naturwissenschaften* 14 (1926), S. 1029–1032. Prášils Film ist über das ETH-Archiv arufbar, <https://video.ethz.ch/campus/bibliothek/historisch/d6560439-547a-4e5c-8d09-718899167fcf.html>, zuletzt besucht am 3. 5. 2025.

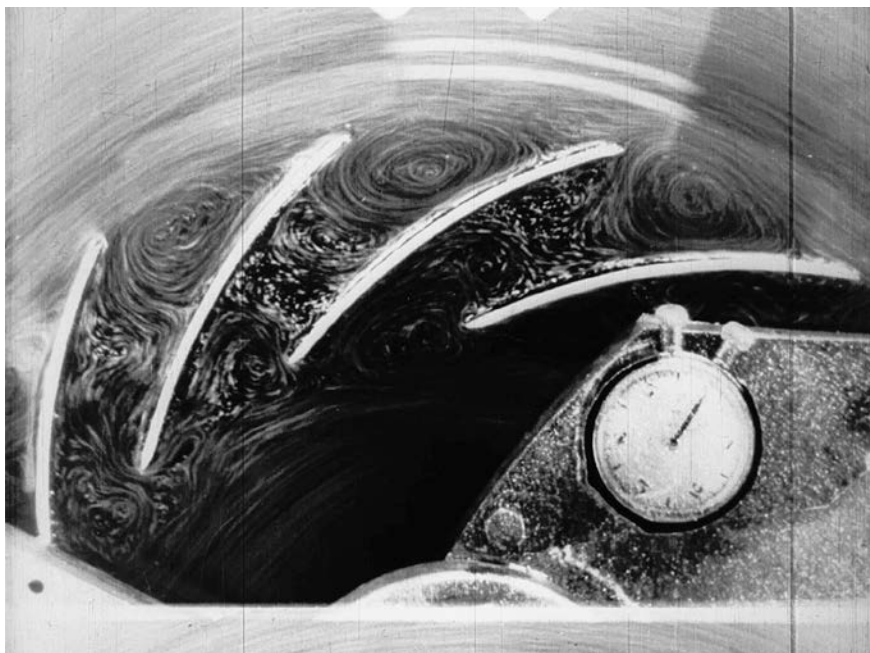


Abb. 3.3: Am Kongress in Zürich zeigte Franz Prášils Aufnahmen der Strömungen in einem Kreiselrad, in dem Messinstrumente wie Stoppuhren zu sehen sind.

Atmosphäre einer wissenschaftlichen Konferenz, die sich mit Ausbrüchen von Gefühlen schwer vereinbaren lässt. Was waren das für Aufnahmen, die diese Reaktionen auszulösen vermochten? Franz Prášils Film, der auf Aufnahmen seines Doktoranden Heinrich Oertli (unter Mitarbeit von O. Walter) beruhte, zeigt Wasserströmungen in einem Kreiselrad. Der Film wurde zu Forschungs- oder genauer zu Messzwecken erstellt und sollte dabei helfen, die Effizienz von Kreiselpumpen zu ermitteln, wenn diese die Energie des Flüssigkeitsstromes in kinetische Rotationsenergie umwandeln. Die Experimente waren Auftragsarbeiten für die Winterthurer Sulzer Werke, weil die theoretischen hydraulischen Berechnungen nicht mit den realen Messungen an der sogenannten Sulzer-Pumpe übereinstimmten. Mit Hilfe von Filmen wurde also das ›reale‹ und nicht das berechnete Strömungsbild gesucht. Auch im Film selbst finden sich Spuren dieser Messfunktion. Messinstrumente wie Uhren sind meist im Bild zu sehen, ferner wurden die einzelnen Versuche mit ins Bild gehaltenen Zwischentafeln nummeriert (Abb. 3.3).

Der Kreiselrad-Film Prášils besticht in seiner Ästhetik. Als filigrane Fäden gleitet die Strömung – mal gleichmäßig sanft, mal in regelmäßigen Pump-

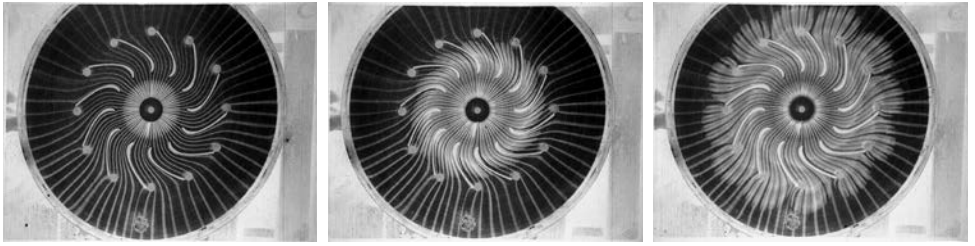


Abb. 3.4: Prášils Film bestach durch seine Ästhetik und veranlasste das Publikum zu »spontanen Beifallsäußerungen«.

stößen – durch die aerodynamisch geformten Schaufeln des Kreiselrads (Abb. 3.4). Starke Kontraste und überraschende Symmetrien prägten das Bild, wobei das ephemere Gleiten der Strömung sowohl die Kontraste wie die Symmetrien unterläuft respektive überfließt. Der Film ist genauso präzise in den Formen, wie er unlesbar in den Bewegungen ist.

Auf die ästhetische Dimension wissenschaftlicher Bilder haben verschiedenste Autor:innen hingewiesen. Lisa Cartwright und Marita Sturken schreiben in *Practices of Looking*: »Although scientific images carry with them particularly strong meanings (as evidence of the real or truth, for example), they are also aesthetic objects.« Nebst vielem anderen sind sie oft auch »aesthetically pleasing«.¹⁹ Aus der positiven Reaktion des Publikums könnte man folgern, dass diese ästhetische Dimension Anklang fand und eine verkörperte Reaktion hervorrief: Klatschen im nüchternen Hörsaal.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Prandtl die Filmvorführung seines Kollegen Prášils gesehen und diese Reaktion des Publikums miterlebt hatte. Ferner zitiert Prandtl Prášil und eines seiner Bilder 1931 in seinem *Abriß der Strömungslehre*.²⁰ Es kann auch davon ausgegangen werden, dass sich die Reaktionen des Publikums auf Prášils und Prandtls Vorführungen maßgeblich unterschieden. Dieser Unterschied wiederum manifestierte sich auch im Kongressband: Wo sich zu Prandtls Beitrag nur vier fotografische Aufnahmen auf einer Seite abgedruckt finden, sind es zu Prášils Beitrag 35 Abbildungen auf über sechs Seiten verteilt. Zählt man die Einzelbilder auf den abgedruckten Filmstreifen, so sind es bei Prášil mehr als 87 Foto- und Filmbilder (Abb. 3.5).

¹⁹ Marita Sturken, Lisa Cartwright, *Practices of Looking: An Introduction to Visual Culture*, Oxford: Oxford University Press 2009 [2001], S. 348.

²⁰ Ludwig Prandtl, *Abriß der Strömungslehre*, Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn 1931, S. 108.

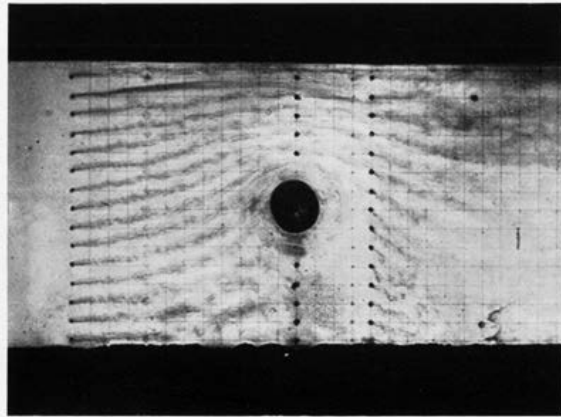


Abb. 6.

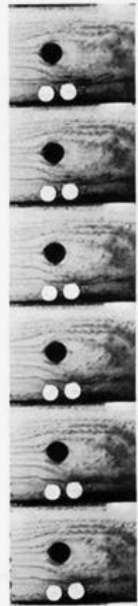


Abb. 5.

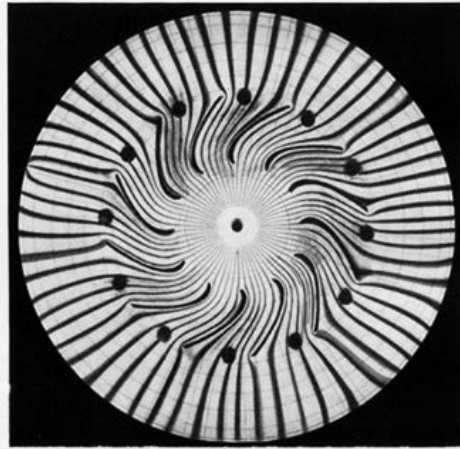


Abb. 7.

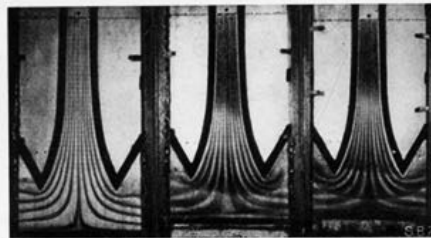


Abb. 9.

F. PRAŠIL, ZÜRICH



Abb. 8.



Abb. 13.

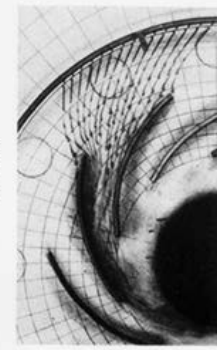


Abb. 16.

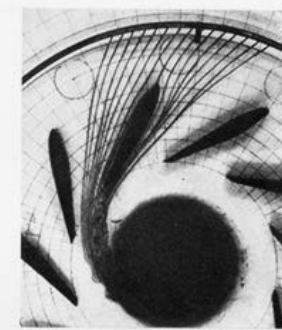


Abb. 20.

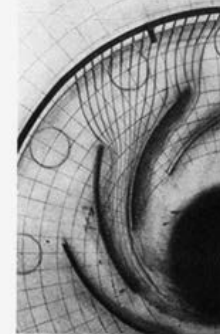


Abb. 12.

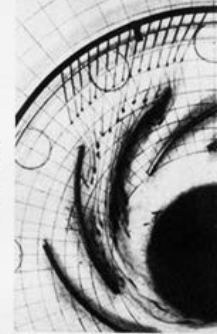


Abb. 15.



Abb. 19.

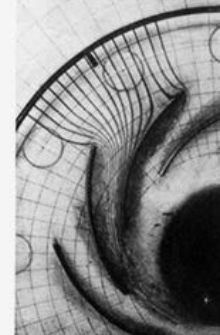


Abb. 11.

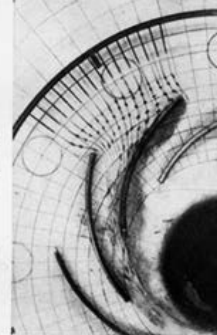


Abb. 14.

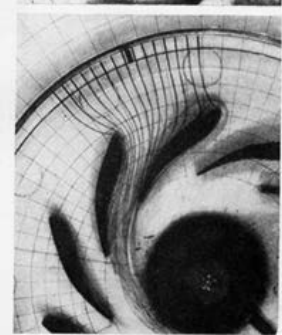


Abb. 18.

F. PRAŠIL, ZÜRICH

Abb. 3.5: Im Kongressband wurden über mehrere Doppelseiten hinweg Bilder aus Prášils Film abgedruckt.

Prandtl konnte auf dem Kongress ein weiteres Potenzial filmischer Bilder erleben: ihre realisierte Visualität im Vortragssaal, vor einem Publikum und mit dessen verkörperter Reaktion. Dies führt zu übergreifenden Fragen: Was ist eigentlich die Reaktion, die sich Wissenschaftler:innen auf ihre Arbeit erhoffen? Wie wirken solche Reaktionen in ihre Arbeit zurück? Die Beantwortung dieser Fragen ist schwierig, da sie Aspekte des wissenschaftlichen Arbeitens betreffen, die insbesondere zu jener Zeit nicht als wissenschaftliche Tugenden galten. Anstelle von Distanziertheit löste das Wissen plötzlich Begeisterung aus, es tangierte den Körper anstelle des ›reinen Geistes‹, Emotionen anstelle von Kognition. Auch existieren kaum Quellen dazu: Ein ausbleibender Beifall, die Faszination für Bilder, das Begehren nach Anerkennung (der Person wie Theorien) – all das muss zwischen den Zeilen herausgelesen werden. Wie also kann das Latente, Ungesagte, Gemachte, Ungewollte, Gesehene und Gefühlte zum Bestandteil einer Geschichte der Wissenschaften werden? Der Historiker Thomas Etzemüller, der sich mit performativen Dimensionen von wissenschaftlichen Auftritten beschäftigt hat, schreibt: »Das, was *nicht* passiert, spielt eine ebenso große Rolle wie das, was passiert.«²¹ Dieser Idee folgend ließe sich argumentieren, dass der weitere Verlauf der Geschichte des Films dadurch beeinflusst wurde, dass sich bei Prandtls Präsentation eben kein Beifall eingestellt hatte. Der Beifall bei Prášils Film zeigte das Potential, der ausbleibende Beifall bei Prandtl diene als Ansporn.

Lange Zeit wurden wissenschaftliche Konferenzen als »stages for scientific practices, not as the play itself« behandelt. Die aktuelle wissenschaftshistorische Forschung fordert, sie als »central locus for understanding science as a social, cultural and political practice« und als »practices in their own right« zu behandeln.²² Bei Etzemüller finden sich *stages* mit dem *play itself* verknüpft: Er schreibt der Performanz einen »*erkenntnistheoretischen Stellenwert*« zu, der darin besteht, »dass wissenschaftliches Wissen in performativen Akten mitentsteht.«²³ Wir wollen dieser Idee eines Zusammenhangs »zwischen

21 Thomas Etzemüller, »It's the performance, stupid«. Performanz → Evidenz: Der Auftritt in der Wissenschaft«, in: Ders. (Hg.), *Der Auftritt. Performanz in der Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2019, S. 9–44, hier S. 20.

22 Charlotte Bigg, Jessica Reinisch, Geert Somsen, Sven Widmalm, »Introduction. The art of gathering: histories of international scientific conferences«, in: *The British Journal for the History of Science* 56 (2023), S. 423–433, hier S. 423, <https://doi.org/10.1017/S0007087423000638>.

23 Etzemüller, »It's the performance« (2019), S. 14. In eine ähnliche Richtung zielt Michael Markerts Auseinandersetzungen mit Robert Wichard Pohl's physikalischer Grundvorlesung in Göttingen. Michael Markert, »Konzept I – Performanz von Lehre. Die Vorlesung als Theater«, Blogbeitrag in: *Schattenprojektionen*, 7. 5. 2020, <https://schattenprojektionen.uni-goettingen.de/annaehderung-i-main>, zuletzt besucht am 14. 2. 2025.

Auftritt und Evidenz«²⁴ folgen und untersuchen, wie Prandtl in den Jahren nach dem Zürcher Kongress seine Choreografie der Evidenz mit und um seine Filmaufnahmen entwickelte und anpasste. Von einer Choreografie der Evidenz sprechen wir in Anlehnung an die »choreography of truth«, die der Wissenschaftshistoriker Iwan Rhys Morus von Michael Wintroub übernommen hat.²⁵ Den Begriff der Wahrheit ersetzen wir dabei durch den der Evidenz und stellen damit ein zentrales Charakteristikum visueller Wissensmedien ins Zentrum. Ferner erlaubt die Idee einer Choreografie, andere Formate der Wissensproduktion in die Analyse miteinzubeziehen als das Experiment und den Aufsatz, und andere Akteuer:innen als die Forschenden in Laboren und Leser:innen von Papers. In der Aufführungssituation wird das Zusammenspiel ihrer Elemente – Raum, Publikum, Performanz des Vorführenden, dazu gesprochener Text und gezeigte visuelle Mittel – begreifbar.

Die Erstaufführung in London

Als Prandtl seinen Strömungsfilm im Mai 1927 erstmals in London vorführte, hatte dieser noch keinen eigenen Namen. Vielmehr war der Film Teil des Vortrags, der den Titel *The Generation of Vortices in Fluids of Small Viscosity* trug.²⁶ Auch wenn der in London gezeigte Film nicht exakt den Versionen entspricht, die in den späteren Jahren zirkulieren werden, kommt die Lecture einer Uraufführung oder Premiere gleich, da die wichtigsten Aufnahmen des Films hier bereits versammelt waren. Prandtl wird den Film in den folgenden Jahren mehrfach umarbeiten und seinen Vorstellungen anpassen. Die Änderungen betrafen den Schnitt, die Zusammenstellung, das Einfügen von Zwischentiteln und das Remake insbesondere einer Szene: die eines rotierenden Zylinders. Grundsätzlich lassen sich aber alle weiteren Filmversionen von dieser ersten ableiten. Daher lohnt es sich, bei der Wilbur Wright Lecture zu verweilen und nach der Rolle der Filmaufnahmen zu fragen: Was waren die Filme zum Zeitpunkt ihrer ersten Vorführung für Prandtl? Welche Funktionen schrieb er ihnen zu? Und in einem weiteren Schritt: Zu was wurde der Film im Folgenden? Es lassen sich zumindest einige Indizien für die Funktionen zusammentragen, die diese Aufnahmen in London übernehmen sollten respektive übernommen haben – für Prandtl wie auch für die, die sie bei der Gelegenheit gesehen haben.

24 Etzemüller, »It's the performance« (2019), S. 14.

25 Iwan Rhys Morus, »Placing Performace«, in: *Isis* 101/4 (2010), S. 775–778, hier S. 777.

26 Prandtl, »The Generation of Vortices« (1927), S. 720–741.

Prandtl hatte den Film erst in den Monaten vor dem Vortrag erstellt. Der Druck war hoch und er sorgte sich, der Film werde nicht fertig, und er sei, selbst wenn er fertig würde, nicht mit den englischen Projektoren vorführbar (eine Angst, die berechtigterweise auch seine Diapositive betraf: denn in der Tat unterschieden sich die Dia-Formate in England) oder dass kein Apparat vorhanden sein könnte, mit dem sich der Film auch stoppen und zurückspulen ließe. In diese Sorgenkette reihte sich auch die Sorge um seine mangelnden Englischkenntnisse ein. Das mag zunächst trivial klingen, war aber durchaus relevant – sowohl für den deutschen Wissenschaftler als auch für die Geschichte des Films.²⁷ Denn Prandtl schien es wichtig gewesen zu sein, selbst auf der Bühne zu stehen. Bereits vier Jahre zuvor war er von der Royal Aeronautical Society eingeladen worden. Diese Einladung lehnte er noch mit dem Verweis ab, dass er die englische Sprache in keinsten Weise beherrsche.²⁸ In der Zwischenzeit hatte er Englischstunden genommen. Dennoch schickte er für die Lecture ein deutsches Manuskript nach England und bat darum, es durch einen Fachmann übersetzen zu lassen. Die Sprachbarriere und Prandtls Unsicherheit sind ein erstes Indiz für die konkrete Funktion des Films. Denn sie geben Anlass, ihn als eine willkommene Möglichkeit zu interpretieren, die Vortragszeit auszuschöpfen und statt verbal in schlecht verständlichen Worten visuell mit Bildern zu argumentieren, die unmittelbar verständlich erschienen. Immerhin ging diese Strategie bereits in Zürich auf: Práßils Film hatte das internationale Publikum begeistert.

Ein zweites Indiz lässt sich aus der Tatsache ableiten, dass Prandtl die Lecture zu großen Teilen nicht selbst gehalten, sondern durch Major Low vorlesen lassen hatte.²⁹ Wenn es also stimmt, was Etzemüller schreibt, dass der Auftritt in den Wissenschaften zweierlei dient, »[d]er Beglaubigung der Person und der Beglaubigung von Wissen,«³⁰ so stellt sich die Frage, inwie-

27 Zur Bedeutung der englischen und deutschen Sprache für die Wissenschaft dieser Zeit: Michael Gordin, *Scientific Babel. How Science Was Done Before and After Global English*, Chicago: University of Chicago Press 2014. Auf die Rolle des Visuellen für die Verständigung über Sprachgrenzen hinweg geht Gordin nicht ein.

28 Vgl. hierfür und für das Folgende: Michael Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg: Springer 2017, S. 164–169; AMPG III/61/1401.

29 Die Quellen weisen in unterschiedliche Richtungen, ob dies geplant oder dem Moment geschuldet war. Der Hinweis »Professor Prandtl then read the beginning of his lecture, the reading of which was completed by Major A. R. Low« findet sich jedenfalls nur im Abdruck der Lecture in *The Journal of the Royal Aeronautical Society*, nicht aber in den Gesammelten Abhandlungen Prandtls (Prandtl, »The Generation of Vortices« (1927), S. 720).

30 Etzemüller, »It's the performance« (2019), S. 28.

fern Prandtls Person beglaubigt werden konnte, wenn er den Vortrag gar nicht selbst gehalten hatte. Was an dem Abend nicht passierte, ist genauso wichtig wie das, was passierte: Prandtl trat zwar zu Beginn (und möglicherweise zum Schluss) auf, aber er war es nicht, der den wesentlichen Teil der Vorlesung mit seiner körperlichen oder stimmlichen Präsenz bespielte. Wenn entsprechend William Forbes-Sempill Prandtl einen Tag nach der Lecture für die »wonderful Lecture« dankt, konnte er auf jeden Fall nicht Prandtls Performance gemeint haben. Allerdings findet sich bei Sempill eine andere Präsenz adressiert: die der Bilder und Filme, die er explizit hervorhob, wenn er davon schreibt, dass die Lecture »illustrated by the most remarkable series of slides and cinematographic films« gewesen sei, »that have ever been the good fortune of the Society to see.«³¹ Die Filmaufnahmen, so ließe sich folgern, kompensierten Prandtls ansonsten mangelnde performative Präsenz bei der Lecture.

Weitere Indizien zu einem Verständnis des Films betreffen den Zeitpunkt der Lecture innerhalb Prandtls wissenschaftlicher Karriere. Mitte der 1920er und spezifisch 1927 befand sich Prandtl im deutschsprachigen Raum auf deren Höhepunkt. Laut Michael Eckert war er »der führende Experte« im Fach.³² Die Lecture ist nun zugleich Ausdruck dieses Erfolgs wie wichtiger Moment, diesen Erfolg auch im Ausland zu festigen. Daher kann der Film – dem Anlass entsprechend – auch als visuelle Untermauerung und Zusammenfassung der zentralen Erfolge seiner Karriere gesehen werden. Die Abfolge der Szenen entspricht grob den wichtigsten Themen, die Prandtl in den letzten zwanzig Jahren beschäftigt hatten: Tragflügeltheorie und Kelvin Theorem, Strömungsablösung und Wirbelbildung, Magnuseffekt und Absaugung. Wenn man allerdings mit einbezieht, wie Prandtl bei der Lecture auf den Film referiert, so finden sich gleichsam Hinweise, die in eine andere Richtung deuten. Nämlich, dass er die Aufnahmen als (noch) nicht

31 Sempill an Prandtl, 17. 5. 1927, zitiert nach Johanna Vogel-Prandtl, *Ludwig Prandtl. Ein Lebensbild. Erinnerungen, Dokumente*, Göttingen: Universitätsverlag Göttingen 2005 [1993], S. 99–100.

32 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 164. Es lassen sich verschiedene Belege für die Prominenz Prandtls in dieser Zeit anbringen, etwa die Preise und Ehren, mit denen Prandtl überschüttet wurde. Von der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt erhielt er 1927 die Otto-Lilienthal-Medaille (die höchste Auszeichnung in der Deutschen Luftfahrtforschung, die später in Ludwig-Prandtl-Ring umbenannt wurde) und zwei Jahre später vom Verein Deutscher Ingenieure die Grashof-Denkmünze. Bei seinem Besuch in England 1927 wurde ihm außerdem als erstem Kontinentaleuropäer die Gold Medal of The Royal Aeronautical Society verliehen. Von Kármán gratulierte Prandtl zu seinem 50. Geburtstag 1925 mit einem hymnischen Aufsatz in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt und bezeichnete ihn als »Forscher von Gottes Gnaden«.

verarbeitete Forschungsergebnisse ansah. Etwas repetitiv beschreibt er, was die Szenen zeigen: »the first film shows you the configuration of flow round a flat plate, [...]. The second and third show [...]« etc.³³ Prandtl verbleibt auf der Ebene der festgehaltenen Phänomene. Er hebt weder auf deren theoretische Deutung ab, noch beschreibt er die Szenen als Visualisierungen seiner Theorien (etwa die Strömung um den Tragflügel für die Tragflügeltheorie oder die Strömungsablösung an einem konkaven Körper für die Grenzschichttheorie, etc.). Ferner spricht er nicht von einem Film, sondern von Filmen. Diese Art und Weise, über die Aufnahmen zu sprechen, gibt Aufschluss darüber, als was er den Film bei seiner Erstaufführung auch gesehen haben muss: als eine Aneinanderreihung von Aufnahmen aus dem Labor, die zwar etwas zu zeigen vermögen, die allerdings noch kein filmisches Werk waren oder gar eine visuelle Repräsentation seines wissenschaftlichen Werks.

Die Hinweise, welche Rolle der Film für Prandtl bei der Vorführung einzunehmen hatte, weisen in mehrere Richtungen. Er war Mittel, um zu Beifallsäußerungen zu verhelfen, er war visuelles Substitut für seine mangelnden Englischkenntnisse, er war eigenständiges Forschungsergebnis und zugleich bloßer Anhang zum Text. Mit anderen Worten: Es war noch offen, was der Film war. Mit Hans-Jörg Rheinberger gesprochen, befand sich der Film in London in einem Zustand der unvermeidlichen Vorläufigkeit.³⁴ Er war noch nicht *ein* Film, sondern er war mal einer, mal war er mehrere, was eindeutige Bestimmungen schwierig macht. Der Film kann zum Zeitpunkt seiner Erstaufführung selbst als ein epistemisches Ding beschrieben werden, das sich durch eine »charakteristische, irreduzible Verschwommenheit und Vagheit« auszeichnet.³⁵ Der konkrete epistemische Gehalt des Films wird sich für Prandtl erst nach und nach festigen.

Die Reaktionen der Fachkollegen: vom »delightment« zum »knowing what to look for«

Im Vergleich zu den (notwendigerweise) schwer rekonstruierbaren Absichten Prandtls fielen die Reaktionen der Fachkollegen eindeutiger aus. Eine der Reaktionen auf die Vorführung stammt von Frederick W. Lanchester, langjähriger Freund von Prandtl von dem bereits im ersten Kapitel im

33 Prandtl, »The Generation of Vortices« (1927), S. 739.

34 Hans-Jörg Rheinberger, *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Berlin: Suhrkamp 2006 [2001].

35 Ebd., S. 27.

Zusammenhang mit der Tragflügeltheorie die Rede war. Lanchester kommentierte direkt im Anschluss an den Vortrag:

[...] and to see the advance in photographic technique by which he has been enabled to exhibit to us such beautiful and exact pictures of the flow of fluids recorded by the camera. The reality as revealed is in no way discordant with what we had conceived from theoretical considerations; nevertheless, I do not suppose that any of us could have exactly foretold all that the camera discloses.³⁶

Die Kamera bestätigte die theoretischen Annahmen und enthüllte zugleich mehr. Nur was sie enthüllt, das fasst auch Lanchester nicht in Worte – vielleicht, weil das Visuelle schwer in Worte zu fassen ist, vielleicht, weil es gar nicht nötig erschien, es in Worte zu fassen. Immerhin haben die Anwesenden den Film kurz zuvor mit eigenen Augen gesehen.

Auf die Erstaufführung des Films folgten weitere Screenings und mit diesen auch weitere Reaktionen. So besuchte Prandtl kurz nach der Lecture seinen Kollegen Geoffrey Ingram Taylor in Cambridge und überließ ihm den Film, den dieser nach Prandtls Abreise im berühmten Cavendish Laboratory zeigte. In einem Brief an Prandtl berichtete Taylor vom Erfolg der Filmvorführung. Seine Beschreibung und insbesondere seine Wortwahl geben einen Eindruck von der Rezeptionserfahrung des zeitgenössischen Film- und Fachpublikums: »Everyone was very delighted with the film and they all waited while we rolled the film back again to show it a second time. It is really much better to see such a film twice because one then knows what to look for.«³⁷ Stellen wir uns die von Taylor beschriebene Situation einmal genauer vor: Taylor und das Publikum schauten den Film einmal, waren entzückt, warteten erwartungsvoll, bis die 35mm-Rolle zurückgespult war, schauten den Film ein zweites Mal – und das ist zentral – wussten dann, auf was sie zu achten und was sie zu sehen hatten.

Die zweistufige Rezeptionserfahrung, die Taylor beschreibt, erinnert an Modelle der Erkenntnisgewinnung, mit denen seit der frühen Neuzeit immer wieder der wissenschaftliche Prozess charakterisiert wurde. Lorraine Daston und Katherine Park beschreiben diese in *Wonders and the Order of Nature* am Beispiel von Robert Boyles Untersuchung des unbekannten Leuchtens eines Stückes Fleisch: »Boyle's first response was wonder. His second was immediately to investigate the matter, despite the lateness of

36 Prandtl, »The Generation of Vortices« (1927), S. 741.

37 Taylor an Prandtl, 24. 5. 1927, AMPG III/61/1983.

the hour«. ³⁸ Bemerkenswert ist der Wortlaut von Boyles eigener Beschreibung: »... and then I plainly saw, both with wonder and delight, that the joint of meat did, in divers places, shine like rotten wood or stinking fish«. ³⁹ Oliver Gaycken hat darauf hingewiesen, dass die Reaktion des Staunens auch für die frühen populärwissenschaftlichen Filme typisch war. Die »mixture of disbelief and amazement« führte dazu, dass das Publikum eine Zugabe forderte. ⁴⁰ Dieser zweistufige Vorgang scheint sich in der von Taylor beschriebenen Rezeptionserfahrung des Mediums Film zu wiederholen: vom *delightment* zum »know[ing] what to look for«, ein visuell konnotierter Ausdruck, der nur unzureichend übersetzt werden kann, als wissen, wonach man zu suchen hat, wobei allerdings die visuelle Konnotation verschliffen wird. Die leuchtenden Punkte, die über einen schwarzen Grund gleiten – gleich dem wundersam leuchtenden Fleisch Boyles –, werden im Film zum epistemischen Bild der Strömung. Das Medium Film liefert dabei die Bedingung der Möglichkeit, dieses Zusammenspiel von Faszination und Erkenntnis bei späteren Vorführungen und unterschiedlichen Rezipient:innen zu wiederholen und die *wonder* des *screens* immer aufs Neue epistemisch werden zu lassen. ⁴¹ Die Notwendigkeit einer Wiederholung des Films weist zudem darauf hin, dass die rezeptionsseitige Verarbeitung des Gesehenen dem Sehen der gezeigten Phänomene hinterherläuft. Erst im zweiten Durchgang kann man sehen, was man im ersten Durchgang glaubt, erkannt zu haben.

38 Lorraine Daston, Katherine Park, »Introduction. At the Limit«, in: Dies. (Hg.), *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*, New York: Zone Books 1998, S. 13–20, hier S. 13.

39 Zitiert nach ebd.

40 Oliver Gaycken, *Devices of Curiosity. Early Cinema and Popular Science*, Oxford, New York: Oxford University Press 2015, S. 74.

41 Es mag ein Zufall sein, dass Taylor die Reaktion des Publikums als »delighted« beschreibt. Nichtsdestotrotz ist die Verwendung bemerkenswert: *delighted* als das Empfinden oder Geben großer Freude (*great pleasure, happiness*) wurde aus dem Französischen übernommen. Im Mittelenglischen wurde damit spezifischer »sexual pleasure or gratification« bezeichnet. Ab dem 16. Jahrhundert erfuhr das bis dahin als *delite* geschriebene Wort eine neue Schreibweise: *delight* mit -gh-, was wiederum beeinflusst ist von Wörtern wie *light* and *flight* (Oxford English Dictionary: Artikel »delight«). Das -light- in *delight* ist entsprechend unetymologisch, wurde aber zum zentralen Bestandteil von *delight*. Zugespitzt gesagt verbindet sich darin ein Moment der großen Freude und (sexueller) Befriedigung mit Licht – der Metapher für Erkenntnis schlechthin. Im Falle des Lichtmediums Film verweist es zusätzlich auf die Medienspezifika. Das Licht selbst macht das Bild überhaupt möglich. Morus schreibt, dass auch durch das 19. Jahrhundert hindurch die Sprache, mit der wissenschaftliche Phänomene beschrieben wurden, eine »language of sensation« gewesen sei, »the vocabulary used is one that engages with the senses quite directly« (Iwan Rhys Morus, »Worlds of Wonder. Sensation and the Victorian Scientific Performance«, in: *Isis* 101/4 (2010), S. 806–816, hier S. 808).

Prandtl erfuhr spätestens durch die vielen positiven Reaktionen seiner Kollegen, was sein Film beim Publikum auszulösen vermochte. Neben der Vorführung bei der Royal Aeronautical Society und dem Cavendish Laboratory trafen Bestellungen von allen Seiten ein.⁴² Sein Auftritt in London wurde ungeachtet der Tatsache, dass er die Lecture nicht selbst hielt, zu einem Erfolg. Der Sekretär des Wilbur Wright Memorial Fund, Griffith Brewer, schrieb in einem Brief an Prandtl einige Wochen nach dem Vortrag sogar: »Your Lecture will stand out as the greatest success in all the Wilbur Wright Memorial Lectures«.⁴³ Zu diesem Erfolg trug der Film wesentlich bei, denn er war es, der Prandtls mangelnde Präsenz auf der Bühne oder sogar seine Absenz bei späteren Vorführungen ausglich.

Brückenbildung: vom Film in die Theorie

Die Beglaubigung der Person Prandtl schien im Zuge seiner Lecture auch in Großbritannien gegeben. Die Beglaubigung seiner Theorien hingegen bedurfte mehr Zeit und zusätzlicher Austragungsorte und Publikationsformate als die der Filmvorführung. Denn es soll hier nicht der Eindruck erweckt werden, als wären Prandtls Theorien erst mit der Vorführung außerhalb der Göttinger Forschungscommunity akzeptiert worden. Bereits die Einladung zur Lecture und die Verleihung der Goldmedaille zeigten, wie einflussreich Prandtls Denken in Großbritannien bereits war. Ebenso war er zu diesem Zeitpunkt für seine Windkanalarchitekturen und seine Tragflügeltheorie schon weltweit bekannt. Dennoch gab es gerade seitens der britischen Aerodynamiker-innen, die an mathematischer Deduktion orientiert waren, noch Vorbehalte gegenüber der Herleitung der Tragflügeltheorie, wie wir im ersten Kapitel herausgearbeitet haben. Und auch die Grenzschichttheorie hatte noch nicht die Bedeutung, die sie in der weiteren Geschichte der Fluidodynamik erhalten sollte. Dies änderte sich ab Mitte der 1920er Jahre – und damit parallel zu den ersten Filmvorführungen.

Es lässt sich an den inhaltlichen Äußerungen einflussreicher britischer Aerodynamiker nachvollziehen, dass die Vorführung des Films respektive Prandtls auf dem Film beruhende Choreografie der Evidenz in der Tat einen Sinneswandel auszulösen vermochte, beispielsweise bei Richard Vynne

⁴² Beispielsweise bestanden Sempill als auch Nayler vom National Physical Laboratory darauf, Kopien des Films zu erhalten und dafür, wenn nötig, auch zu bezahlen (vgl. Prandtl an Nayler, 9. 6. 1927, AMPG I/44/215).

⁴³ Brewer an Prandtl, 11. 6. 1927, AMPG III/61/1983.

Southwell. Der Professor für Engineering am Trinity College entstammte der Cambridge Tripos-Tradition und war wie viele andere britische Forscher:innen aus dieser Traditionslinie mathematischer Strömungsforschung lange Zeit nicht gänzlich überzeugt von Prandtls Ansichten. 1925, zwei Jahre vor Prandtls Lecture, hob er in einer Vorlesung an selber Stelle in der Royal Aeronautical Society hervor, dass Prandtls Tragflügeltheorie zwar die experimentellen Tests »with flying colours« bestanden hätte, dass aber die theoretischen Gründe dafür im Dunkeln lägen:

[The] conditions in this layer are the ultimate mystery of aerodynamics: somehow or other, in a film of air whose thickness is measured in thousandths of an inch, that circulation is generated which we have just seen to be the essential ingredient of ›lift‹.⁴⁴

In der Diskussion zum Vortrag unterstrich er noch einmal dieses ambivalente Verhältnis zu Prandtls Grenzschichttheorie:

The really interesting part of Prandtl's work was the work he had been doing subsequently in his study of the ›boundary layer,‹ because that work might ultimately explain why the assumptions which could not be correct could make such amazingly true predictions.⁴⁵

Warum Southwell in der Folge seine Position ändern sollte, lässt sich zwar nicht eindeutig rekonstruieren. Eine Vorlesung, die Southwell hielt, drei Jahre nachdem er den Film Prandtls bei dessen Lecture in London gesehen hatte, gibt jedoch einen Hinweis darauf, dass gerade der Film dabei eine entscheidende Rolle gespielt hatte.⁴⁶ In dieser prestigeträchtigen James Forrest Lecture bei der Institution of Civil Engineers lieferte Southwell einen Rückblick auf die entscheidenden Fortschritte der aeronautischen Forschungen seit 1914. Am Ende seiner Fortschrittserzählung setzte er die Theorien Prandtls. Zwar blieben für Southwell auch dann noch »mysterious interventions of viscosity« bei der Beschreibung des Auftriebs bestehen, gleichwohl zeigte er sich überzeugt.⁴⁷ Die im Film aufgenommenen Experimente

44 Richard V. Southwell, »Some Recent Work of the Aerodynamics Department, National Physical Laboratory«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 29/172 (1925), S. 146–167, hier S. 156, S. 158.

45 Ebd., S. 166.

46 Richard V. Southwell, »Aeronautical Progress, 1914–1930. The James Forrest Lecture«, in: *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 230 (1931), S. 333–380.

47 Ebd., S. 363.

verdeutlichten für ihn nun: »that it is just possible to make theoretical progress, if we introduce simplifying assumptions that are justifiable on physical grounds.«⁴⁸ Er beschreibt die im Film gezeigten Phänomene über mehrere Seiten und zeigte zahlreiche Einzelbilder daraus. Mehr noch, er führte Prandtls Film wohl auch selbst vor. Darauf deuten nicht nur seine Formulierungen hin – »Now let us follow the corresponding film«⁴⁹ –, sondern auch der Fakt, dass ein Apparat zur Vorführung in dem Vortragssaal um die Ecke vom Parliament Square in London vorhanden gewesen sein muss, denn Southwell führte in der gleichen Lecture einen anderen Film von 1929 vor, der das gefürchtete Phänomen des Flugzeugflatterns porträtierte. Zudem wird im Abbildungsverzeichnis der Royal Aeronautical Society gedankt, die eben eine Kopie des Prandtl'schen Films besaß. Bevor er den Film zeigte, gab er eine kurze Einführung in seinen Inhalt und betonte wie schon Taylor: »Knowing what to look for, you will be able to study with better appreciation the moving pictures of the same phenomenon.«⁵⁰ Er ging insbesondere auf jene Bilder ein (und reproduzierte diese in dem zur Lecture erschienen Paper), die die theoretische Grundlage für die Wirbelbildung verdeutlichen sowie jene, die eine etwaige Kontrolle ihrer Entstehung versprechen, konkret die Versuche zur Absaugung.

In der Person Southwells realisiert sich in der Folge der Erstaufführung etwas, was für wissenschaftliche Vorführungen allgemein gilt: Das Publikum selbst – hier Southwell – kann zum Teil der Vorführung werden. Morus schreibt: »Spectators of scientific display must be considered as active and engaged participants in scientific performances rather than disinterested passersby.«⁵¹ Das Publikum sei nicht bloß Augenzeuge, sondern kollaborativ beteiligt.⁵² Im Falle Southwells hatte diese Kollaboration, die im aktiven Zuschauen, vielleicht im Moment des *delightment* und dann in einem *knowing what to look for* bestand, die weitreichende Konsequenz der Akzeptanz von Prandtls Grenzschichttheorie. Die performativen wie filmischen Elemente der Wissenschaften können, wie dieses Beispiel zeigt, vielleicht gerade aufgrund ihres nicht-verbalen Charakters zum brückenbildenden Element zwischen Mathematik und Beobachtung und damit zum Teil des Austauschsystems eines wissenschaftlichen Internationalismus werden.

Auch andere zeigten sich nach der Filmvorführung überzeugt. Horace Lamb widmete dem Grenzschichtkonzept in der sechsten Auflage seines

48 Ebd., S. 364.

49 Ebd., S. 366.

50 Ebd., S. 366.

51 Morus, »Worlds of Wonder« (2010), S. 810.

52 Morus, »Placing Performace« (2010), S. 777.

einflussreichen Lehrbuchs *Hydrodynamics* von 1932 ganze sieben Seiten. In der vorhergehenden Auflage von 1924 war es gerade mal eine halbe Seite. In der Ausgabe von 1932 zitiert er Prandtls Londoner Lecture und erwähnt »some beautiful experiments with small scale models in a tank«, womit er vermutlich auf die Experimente referiert, die auch dem Film zugrunde lagen.⁵³ Insbesondere geht er auf die Experimente ein, die nicht anderweitig als in Fotografien oder eben im Film veröffentlicht wurden (auch wenn wir nicht rekonstruieren konnten, ob er selbst anwesend war oder ob er den Film erst später gesehen hat).

Choreografie der Evidenz: Überarbeitung und Wiederaufführung des Films

Zurück im Jahre 1927 musste der Erfolg der Wilbur Wright Memorial Lecture und die positiven Rückmeldungen zum Film in England Prandtl in seinen Ambitionen bestärkt haben, sich weiterhin mit der Produktion und Vorführung von Filmen zu beschäftigen. Und vielleicht mehr noch: Der weitere Verlauf dieser Filmgeschichte legt nahe, dass Prandtl den Filmaufnahmen mehr zutraute, als bloßer Zusatz zu einem Vortrag oder Illustration seiner Theorien zu sein. Beim Redigieren des Typoskripts der deutschen Fassung seiner Londoner Lecture *Die Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung* fügt er handschriftlich den Satz ein: »Der Film am Schluß des Vortrages wird diese Dinge noch deutlicher zeigen.«⁵⁴ Die Notiz weist darauf hin, dass Prandtl dem Film nach dessen Erstausführung mehr zutraute als noch zuvor. Er beginnt vorsichtig – erstmals nur in einem Satz –, dem Film auch in seinen Worten visuelle Evidenz zuzusprechen.

Doch was bedeutet es, wenn ein Film zur visuellen Evidenz wird? Die Frage, wie Evidenz generiert wird, hat unter anderen der Fotohistoriker Peter Geimer diskutiert.⁵⁵ Geimer führt den Kulturwissenschaftler Ludwig Jäger an, der »Evidenz nur als ein Resultat medialer Verfahren der Sinn-generierung und nicht als deren Grund im Sinne einer unanfechtbaren

53 Horace Lamb, *Hydrodynamics*, Cambridge: At the University Press ⁶1932 [1892], S. 691.

54 Vgl. Typoscript zum Artikel »Die Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 18 (1927), S. 489–496, hier S. 492 (DLR GOAR 3663). Der Satz bezieht sich auf eine Textstelle zur Wirbelbildung und Instabilwerdung eines Wirbels hinter einem Zylinder und er ersetzt den Satz »Wir werden diese Vorgänge hinterher auch noch im Film sehen.«

55 Peter Geimer, »Vom Schein, der übrig bleibt. Bildevidenz und ihre Kritik«, in: Helmut Lethen, Ludwig Jäger, Albrecht Koschorke (Hg.), *Auf die Wirklichkeit zeigen. Zum Problem der Evidenz in den Kulturwissenschaften*, Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag 2015, S. 181–218, hier S. 183.

Gewissensbürgschaft« versteht.⁵⁶ Einen vergleichbaren Ansatz findet Geimer bei Jan-Dirk Müller, der schreibt, dass die Rhetorik in Bezug auf die Evidenz untersuchen würde, »wie das unmittelbar Einleuchtende durch vielfältige Verfahren *vermittelt* werden kann«; wie das Gemachte sein »Gemachtsein« verbirgt, wie das Vermittelte die Spuren seiner Vermittlung tilgt.⁵⁷ Verhielte es sich so, gibt Geimer zu bedenken, so setzt die Evidenz »mediale Verfahren der Sinngenerierung voraus, diese Verfahren dürfen aber nicht als solche in Erscheinung treten, wenn der Eindruck von Evidenz nicht gestört werden soll.« Im Anschluss daran fragt er:

Wie aber soll man sich das Verhältnis von Vermittlung und Verbergen der Vermittlung, ihr kausales und zeitliches Zusammenspiel vorstellen? Kann etwas vermittelt und unmittelbar *zugleich* sein? Oder entfaltet sich Evidenz als Prozess, d. h. im *Nacheinander* von Vermittlung und vermittelter Erfahrung?⁵⁸

Geimer schlussfolgert kritisch gegenüber Jäger und Müller, dass »die Ressourcen und Bedingungen bildlicher Evidenz auch nicht *alles* sind und das Phänomen der Evidenz nach seiner kritischen Durchleuchtung nicht einfach spurlos verschwunden ist.«⁵⁹

In der Strömungsforschung zu Prandtls Zeiten schien die gleichzeitige Erfahrung des Gemachtseins der Evidenz und der Evidenz selbst (sofern es diese gibt) weniger ein Problem gewesen zu sein. Zumindest war die Offenlegung dessen, wie die Bilder erzeugt wurden – konkret also die Beschreibung des Experimentalsettings und der Ahlborn'schen Methode –, ein zentraler Teil der Legitimation derselben. Allerdings wird diese Legitimation bei der London-Lecture nur auf der Textebene verhandelt und findet entsprechend außerhalb des evidenten Mediums statt und nicht im Moment der Evidenz-erfahrung selbst. In späteren Versionen des Films werden die methodisch-technischen Angaben auch in den Zwischentiteln zu finden sein. Allerdings wird der Punkt von Jäger und Müller – den Geimer wiederum kritisch hinterfragt –, dass die Instanzen der Vermittlung bei der Evidenzerzeugung

56 Ludwig Jäger, »Die Evidenz des Bildes. Einige Anmerkungen zu den semiologischen und epistemologischen Voraussetzungen der Bildsemantik«, in: Enno Rudolph, Thomas Steinfeld (Hg.), *Machtwechsel der Bilder. Bild und Bildverstehen im Wandel*, Zürich: Orell Füssli 2012, S. 95–125, hier S. 119.

57 Jan-Dirk Müller, »Evidentia und Medialität. Zur Ausdifferenzierung von Evidenz in der Frühen Neuzeit«, in: Rudolph, Steinfeld, *Machtwechsel der Bilder* (2012), S. 261–289, hier S. 273.

58 Geimer, »Vom Schein, der übrig bleibt« (2015), S. 183.

59 Ebd., S. 184.

unabdingbar seien, sie aber im Moment der Evidenzerfahrung verborgen werden müssen,⁶⁰ durch die Tatsache gestützt, dass Prandtl sich zunehmend an der Sichtbarkeit des Experimentalsettings im Film störte und er die Sequenzen, die auf das Setting hinweisen, nach und nach entfernte. Die Filmbilder Prandtls stellen ihr Gemachtsein also einerseits aus und verbergen es andererseits. Beides konnte zu ihrer Anerkennung als wissenschaftlich legitimes und überzeugendes Ergebnis beitragen.

Der Kunsttheoretiker Dieter Mersch beschreibt das Wechselverhältnis zwischen diskursiven Verfahren, die ihm zufolge zur Generierung von Wahrheitsansprüchen dienen, und den Bildprozessen, die zur visuellen Produktion von Evidenz führen sollen, wie folgt:

Während diskursive Verfahren an der Hervorbringung und Überprüfung von Wahrheitsansprüchen arbeiten, fällt Bildprozessen die Produktion von Evidenz zu. Wechselseitig aufeinander bezogen macht ihre Aufgabenteilung deutlich, wie sehr sich Evidenzeffekte der Wahrnehmung und Wahrheits-effekte theoretischer Diskurse miteinander verschränken. [...] Wissen verdankt sich mindestens beiden Registern: Gültigkeit ergibt sich dort, wo sie unmittelbar aufeinander reagieren.⁶¹

Das lässt sich auf den Film übertragen. Der Status der Grenzschrift war lange Zeit uneindeutig und die Legitimation der Theorie konnte mit bloßer Mathematik nicht vollzogen werden, sie bedurfte physikalischer Annahmen, die aus der Mathematik der Navier-Stokes-Gleichungen nicht abgeleitet werden konnten. Die visuelle Evidenz für diese Grundannahmen sollten zunächst 1904 die Heidelberger Fotos liefern. Da diese jedoch den Prozess der Grenzschriftbildung und -ablösung nur ungenügend zu fassen vermochten, sollte ab 1927 eben der Film die visuelle Evidenz für die Existenz der Grenzschrift erbringen. Der Film machte dabei weder einfach sichtbar, was zuvor nicht sichtbar gewesen wäre, noch war die Grenzschrift einfach da und musste bloß noch mittels reflektierender Partikeln sichtbar gemacht werden. Vielmehr musste die Grenzschrift für die Filmkamera erzeugt werden. Insofern trat in dem Film durchaus etwas in Erscheinung, was zuvor nicht da war. Er lieferte der Wahrnehmung einen »Evidenzeffekt«. Dieses quasi gültige Erzeugen der Grenzschrift umfasste sowohl diskursive als

60 Vgl. ebd., S. 183.

61 Dieter Mersch, »Wissen in Bildern. Zur visuellen Epistemik in Naturwissenschaft und Mathematik«, in: Bernd Hüppauf, Peter Weingart (Hg.), *Frosch und Frankenstein – Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2009, S. 107–134, hier S. 109.

auch bildliche Prozesse, die sich über Jahrzehnte hinzogen. Denn es hatte Prandtl und Tietjens Jahre und unzählige Versuche mit Kameras gekostet, um die Rückströmung, Wirbelbildung und Ablösung visuell zu kontrollieren, und das Phänomen überhaupt erst für die Kamera zu erzeugen. Doch selbst das Zusammenspiel der visuellen Produktion der Grenzschicht mittels Filmkamera und ihrer diskursiven Erzeugung durch eine Theorie scheint nicht zur Evidenz ausgereicht zu haben.

Zu den Evidenzeffekten gehörte auch eine performative Dimension. »Evidenz wird nicht allein in wissenschaftlichen Verfahren hergestellt, sondern performative und methodische Techniken sind verflochten«,⁶² so Etzemüller. Der Film war auf ein Publikum und auf dessen Reaktion angewiesen. Er wurde erst durch seine Aufführung und durch die damit verbundenen Wahrnehmungsweisen, Reaktionen und angestoßenen theoretischen Diskurse zur visuellen Evidenz. Dieses Zusammenspiel hat die Aussage ermöglicht, dass der Film die beschriebenen Prozesse »noch deutlicher« zeigen würde.

Nach der Londoner Erstaufführung wird der Film zum zentralen Element einer Choreografie der visuellen Evidenz, womit Prandtl (sich selbst wie auch) seine Peers überzeugte. Dieses Choreografieren der Evidenz für spezifische Aufführungssituationen, wozu neben dem Film selbst die entsprechende Performanz vor einem spezifischen Publikum mithilfe einer spezifischen technisch-apparativen Anlage zählte, perfektionierte Prandtl weiter. Yvonne Zimmermann schreibt bezüglich der Bedeutung von Gebrauchsfilmen, dass sie nicht »bei jeder Aufführung in identischer Weise aktualisiert«, sondern »wesentlich vom konkreten Aufführungsereignis innerhalb eines bestimmten institutionellen Rahmens mitproduziert« werden.⁶³ Das trifft auch auf den Film zu, insbesondere auf seine in den 1920er Jahren noch nicht festgelegte Form. Anhand der weiteren Aufführungsereignisse können wir rekonstruieren, wie sich die epistemische Rolle des Films mit diesen veränderte.

Nach der Erstaufführung und im Hinblick auf die Bestellanfragen der Royal Aeronautical Society sowie des Aeronautical Research Committee hatte Prandtl vor, den Film zu überarbeiten: »I had made the arrangement with Colonel Sempill that I should replace some less convenient parts of the film by new ones«, schreibt er in einem Brief.⁶⁴ Vermutlich befindet sich diese

62 Etzemüller, »It's the performance« (2019), S. 28.

63 Yvonne Zimmermann, »Analyse nicht-fiktionaler Filmformen«, in: Malte Hagener, Volker Pantenburg (Hg.), *Handbuch Filmanalyse*, Wiesbaden: Springer 2017, S. 1–14, hier S. 8, https://doi.org/10.1007/978-3-658-13352-8_30-1.

64 Prandtl an Naylor, 25. 7. 1917, AMPG I/44/215.

überarbeitete Version vom Sommer 1927 heute im British Film Institute (BFI).⁶⁵ Von den vier Kopien schickte Prandtl zwei an die Royal Aeronautical Society und Sempill und zwei an J. L. Nayler für das Aeronautical Research Committee und das Ministry of Royal Airforce.⁶⁶ Im BFI heißt der Film allerdings »Prandtl's Experiments« und ist fälschlicherweise auf das Jahr 1924 datiert (Abb. 3.6). Den überarbeiteten Film führte Prandtl weiter vor, wobei er an Sicherheit im Umgang mit dem visuellen Material gewann. Zeitweise diente er ihm sogar als Surrogat für seine eigene Präsenz bei Veranstaltungen.

Eine dieser Aufführungen fand wenige Monate nach der Erstaufführung statt. Im September 1927 zeigte Prandtl den Film am 4. Deutschen Physiker- und Mathematikertag in Bad Kissingen. Im Gegensatz zu der Londoner Lecture schrieb sich der Film nun (zumindest der dazugehörigen Veröffentlichung nach zu urteilen) in den Titel der Präsentation Prandtls selbst ein: diese lautete nun schlicht *Vorführung eines hydrodynamischen Films*. Der publizierte Text weist zudem darauf hin, dass Prandtl diesmal ausführlicher in das hydrodynamische und kinematografische Experimentalsystem einführte. In anderen Worten: Er trat einen Schritt zurück von dem, was im Film zu sehen war, und reflektierte über die medientechnischen Bedingungen der Aufnahmen. Außerdem beschrieb er nicht nur die Szenen, sondern auch – zumindest in Ansätzen – deren hydrodynamische Bedeutung.

Diesen Filmvortrag veröffentlichte er in zwei verschiedenen Zeitschriften,⁶⁷ nachdem sein Londoner Vortragstext bereits an zwei Orten auf deutsch und englisch erschienen war.⁶⁸ Es ist ungewöhnlich, dass ein ähnlicher Text (respektive Teile aus einem Text) in vier verschiedenen Zeitschriften veröffentlicht wurde. Nimmt man die Übersetzungen der NACA⁶⁹ und die späteren Veröffentlichungen der Filmbegleittexte im Rahmen der Rfdu und des IWF dazu (siehe viertes und fünftes Kapitel), kann dieser Text – der zunächst bloßes Anhängsel der Londoner Lecture war und dann zu einer Veröffentlichung eigenen Rechtes avancierte –, als die am häufigsten veröffentlichte

65 Das lässt sich anhand der Länge des Zelluloids rekonstruieren: die BFI-Version stimmt mit der bei der Zolleinfuhr angegebenen Länge überein.

66 Vgl. AMPG I/44/215 und III/61/1983.

67 Der Vortrag erschien sowohl in der *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 7 (1927), S. 436–437, als auch im *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1927 (1927), S. 133.

68 *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 720–741; *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 18 (1927), S. 489–496.

69 Vgl. National Advisory Committee for Aeronautics (Hg.), *Index of NACA Technical Publications, 1915–1949*, Washington: NACA 1949; Ludwig Prandtl, Oskar Tietjens, »Kinetographic [sic] Flow Pictures«, in: National Advisory Committee for Aeronautics (Hg.), *Technical Memorandum* 364, Washington: NACA 1926.

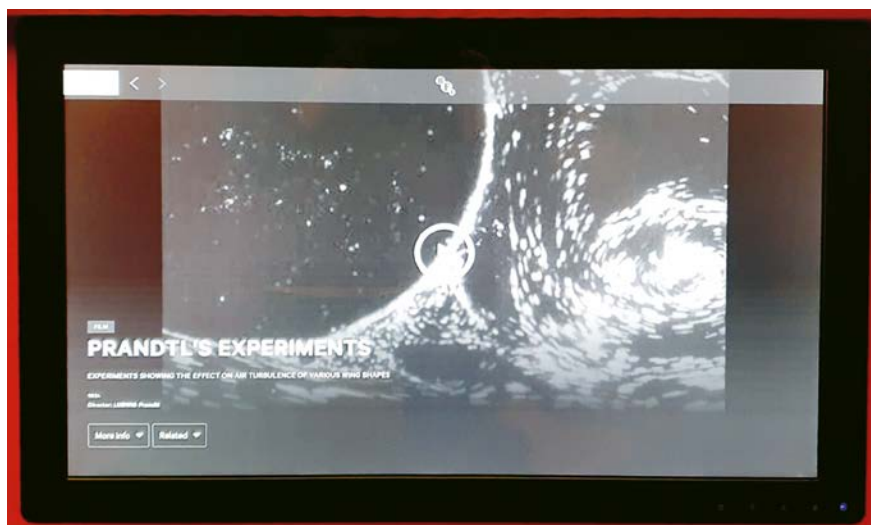


Abb. 3.6: Prandtl's Strömungsfilm findet sich unter dem Titel *Prandtl's Experiments* im British Film Institute. Ungeachtet jedweder Bemühungen bestand die einzige Option, den Film zu sichten, darin, dies in einer der roten »media booths« im BFI zu tun.

Schrift Prandtl's gesehen werden. Das unterstreicht die Bedeutung, die der Film bereits in den ersten Jahren nach seiner Produktion besaß. Nicht einberechnet sind hier zudem die zahlreichen Vorführungen sowie Abdrucke einzelner Bilder in verschiedenen Lehrbüchern zur Fluidodynamik und die Wiederverwendungen des Films in den folgenden Jahren und Jahrzehnten, auf die wir in den folgenden Kapiteln eingehen.

Für Prandtl selbst steigerte sich der Stellenwert des Films in der Folge erheblich. Im September 1927 zeigte er ihn in überarbeiteter Fassung mit einigen neuen Sequenzen auf der XVI. Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt in Wiesbaden. In einer Rezension zur Konferenzpublikation werden insbesondere die Filme – darunter auch Prandtl's – hervorgehoben: »Als von besonderem wissenschaftlichen Interesse mögen, abgesehen von dem Prandtl'schen hydrodynamischen Film, die experimentellen Luftwirbeluntersuchungen von Tanakadate, [...] genannt werden.«⁷⁰ In einer schriftlichen Diskussion zu einem nachträglich eingereichten Aufsatz von Ahlborn setzt Prandtl den Film dann erstmals

⁷⁰ Richard von Mises, »Buchbesprechung: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt E. V. (WGL) 1927«, in: *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 8 (1928), S. 338, <https://doi.org/10.1002/zamm.19280080414>.

explizit als visuelles Argument in einer wissenschaftlichen Kontroverse ein. Prandtl schreibt in Reaktion auf einen Einwand des Berliner Ingenieurs Otto Krell kurz und knapp: »Meine Antwort darauf ist, daß er meinen Film nicht gesehen hat«. ⁷¹ Und auch gegenüber Ahlborn, von dem er einst den Impuls zum Filmemachen bekam und mit dem er sich nun seit einigen Jahren über die Interpretation ihrer jeweiligen Bilder stritt, verwendete er den Film als zwingende Evidenz für seine Theorie, wenn er schreibt: »Ich bin der Ansicht, daß Punkt 1 und 2 der Zusammenfassung von Herrn Ahlborn durch diesen Film glatt widerlegt sind.« Prandtl führte weiter aus, dass Ahlborn, wenn er wegen einer Krankheit nicht verhindert gewesen wäre, »mit eigenen Augen [hätte] sehen können, wie vor Beginn der Ablösung der Strömung die wandnahe Schicht erst stehen bleibt und dann rückwärts marschiert, worauf die Wirbelbildung einsetzt.« ⁷² Damit wies Prandtl dem Film – oder zumindest einigen Aufnahmen daraus – eine spezifische Rolle in seinem Theoriegebäude zu, insbesondere zur Entstehung von Wirbeln.

Gemäß Prandtls Grenzschichttheorie entstehen Wirbel durch die Ablösung der Grenzschicht vom angeströmten Körper. Er unterscheidet dabei drei Stadien: Erstens die Ausbildung einer Grenzschicht in der Nähe der Körper. Im zweiten Stadium kehrt sich die Strömung innerhalb der Grenzschicht allmählich um und gewinnt dadurch an Dicke. Im dritten Stadium schließlich wird die Strömung durch das Anwachsen der Grenzschicht labil und die rückströmende Flüssigkeit vereinigt sich mit der vorwärts strömenden Flüssigkeit zu einem Wirbel. Während die ersten beiden Stadien mathematisch in der Dissertation von Heinrich Blasius, einem Doktoranden von Prandtl, bereits 1907 zumindest für ein paar wenige umströmte Körper mathematisch beschrieben und gelöst worden sind, war das dritte Stadium nur qualitativ beschreibbar und mittels Visualisierungen prüfbar. Prandtl antwortet Ahlborn: »Für das, was nun weiter erfolgt, ist also keine eigentliche Theorie mehr vorhanden, sondern nur eine an dem Anschauungsmaterial geprüfte qualitative Lehre, die nicht mehr in der exakten Sprache der Formeln ausgedrückt werden kann.« ⁷³ Anstatt auf exakte Formeln, konnte Prandtl nun auf die unmittelbare Klarheit der Filmaufnahmen verweisen. Hatte das Medium Film zwei Jahre zuvor noch Prandtls Hoffnungen enttäuscht, war *sein* Film nun Evidenz und Teil der Theorie geworden. Es scheint fast, als würde ihm der Film

71 Prandtl zitiert nach »Antworten auf die Ahlborn'schen Ausführungen«, in: Friedrich Ahlborn, »Die Ablösungstheorie der Grenzschichten und die »Wirbelbildung«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1927 (1927), S. 171–188, hier S. 184.

72 Ebd., S. 177.

73 Ebd., S. 184.

in der Folge unerlässlich für das Verständnis seiner Präsentationen und seiner Theorien.

Subjektivierung und Co-Biografie: ein Showman auf Weltreise

Obwohl der Strömungsfilm im Zuge der Aufführungen mehr und mehr eine klare Stellung in Prandtls wissenschaftlicher Argumentation einnahm, blieb ein Problem bestehen, das weniger dessen epistemische, als vielmehr dessen medientechnische Seite betraf: Die Bewegtbilder selbst ließen sich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts nur schwer in die bestehenden Publikationsformate der (Ingenieurs-)Wissenschaften übersetzen. In ihren Medienspezifika kamen Filme in Papers oder Lehrbüchern – abgedruckt als Einzelbilder oder Filmstreifen – nicht zur Geltung. Das wusste auch Prandtl. Resignativ beendete er 1928 einen Brief an den Direktor des Aeronautischen Instituts der Kaiserlichen Universität Tokio, Baron Chuzaburo Shiba, mit den Worten: »Wenn es gewünscht wird, würde ich aber auch einige schöne Stromlinienbilder und den Film, den Professor Tanakadate 1927 in Wiesbaden gesehen hat, vorführen können. Es gibt ja für Filme kein anderes Mittel der Publikation, als sie vorzuführen.«⁷⁴ Dieses einzige Mittel war dabei kein Grund mehr für Unsicherheit, Unzufriedenheit oder Zögern, sondern ein Garant für das Gelingen seiner Präsentationen auf der kommenden Vortragstour um den Globus. Seinem Moskauer Kollegen Sergei A. Tschaplygin, einem Mitbegründer des dortigen Zentralen Aerohydrodynamischen Instituts, schrieb Prandtl vor seiner Reise selbstsicher, dass er einen Film habe, den er »vorführen könnte und der bisher immer viel Beifall gefunden hat.«⁷⁵ Was Prandtl 1926 beim Zürcher Kongress noch verwehrt geblieben war, war nun bereits zu einer Selbstverständlichkeit geworden, die sich einplanen ließ: Beifall. Diese Sicherheit veränderte seinen Einsatz des Films, veränderte seine Performance und veränderte auch Prandtl selbst.

An dieser Stelle möchten wir auf die Idee der Objektbiografie zurückkommen. Ein zentraler Gedanke der »biography of things« von Kopytoff ist, dass der Lebenszyklus eines Objekts oft mit der Biografie einer Person verbunden ist.⁷⁶ Eine spätere Adaption des Konzepts der Objektbiografie

74 Prandtl an Shiba, 30. 11. 1928, AMPG III/61/2134.

75 Prandtl an Tschaplygin, 8. 6. 1929, AMPG III/61/2136.

76 Igor Kopytoff, »The Cultural Biography of Things: Commoditization as Process«, in: Arjun Appadurai (Hg.), *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press 1986, S. 64–91.

spitzt diesen Gedanken noch zu: Gemäß der Anthropologin Janet Hoskins wirken die Objekte auf die Biografien ihrer Macher-innen zurück.⁷⁷ Konkret bedeutet das in unserem Fall: Film und Forscher teilten in den 1920er Jahren eine Co-Biografie, wobei nicht nur Prandtl Kontrolle über den Film hatte, sondern der Film in seinen Vorführereignissen auch zur Subjektivierung von Prandtl beitrug. Das lässt sich mit Etzemüllers Forderung verbinden, dass in performativen Settings – und vorgeführte Filme sind eben immer in performative Settings eingebunden – Subjektivierungsweisen in den Blick geraten müssen, die Etzemüller als »komplexe Situation[en]« beschreibt, als »uneindeutige, schwebende Zustände [...], also Machtverhältnisse, die von mehreren Seiten konstituiert werden.«⁷⁸ Diesen Subjektivierungen werden wir uns im Folgenden annähern.

Am 13. September 1929 begann Prandtls Weltreise. Anlass der Reise war ursprünglich der Weltingenieurskongress in Tokio im Oktober und November 1929, zu dem er als Delegierter der Preußischen Unterrichtsverwaltung mit einem Reisestipendium des Preußischen Kultusministeriums gesandt wurde.⁷⁹ Aus den Reiseplänen für Tokio wurde eine »Vorlesungstour um die ganze Welt«, bei der Prandtl auf diversen Zwischenstationen Vorträge hielt oder kleine Vortragsreihen anbot.⁸⁰ Mit der transsibirischen Eisenbahn fuhr er über Moskau, wo er seinen ersten Filmvortrag auf der Reise hielt, nach Wladiwostok, und dann weiter nach Kobe und Tokio.

Sein ehemaliger Mitarbeiter Carl Wieselsberger, der unterdessen in Tokio arbeitete, empfahl Prandtl vor der Reise, zwar keine Gastgeschenke mitzubringen, wohl aber könne Prandtl den hydrodynamischen Film als Geschenk dalassen, was »sicherlich freudig begrüßt« werde.⁸¹ Ob Prandtl den Film schließlich verschenkt hat oder nicht, geht nicht aus den Quellen hervor. Interessant ist allerdings die Tatsache, dass er in Tokio einen (extrem wertvollen) Ultrakinematographen als Gastgeschenk erhielt, über den sich Prandtl bei dem erwähnten Tanakadate bereits im Vorfeld erkundigt hatte.⁸² Dieser Apparat, der 40000 Aufnahmen in der Sekunde tätigen konnte, wurde

77 Janet Hoskins, »Agency, Biography and Objects«, in: Christopher Tilley et al. (Hg.), *Handbook of Material Culture*, London: Sage 2006, S. 74–84.

78 Etzemüller, »It's the performance« (2019), S. 17.

79 Vgl. Prandtl an das Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung/Dr. von Rottenburg, 24. 11. 1929, Universitätsarchiv Göttingen PA – Kur 11046.

80 Vgl. hierfür und für das Folgende: Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 180–181; AMPG III/61/1984 und III/61/1985.

81 Wieselsberger an Prandtl, 8. 5. 1929, AMPG III/61/2135.

82 Vgl. Prandtl an von Rottenburg, 24. 11. 1929, Universitätsarchiv Göttingen PA – Kur 11046. In einem Brief an Prandtl im Vorfeld der Reise taxiert Tanakadate den Kinematografen Suharas mit etwa 8000 Yen (AMPG I/44/1562).

durch den Strömungsforscher Toyotaro Suhara entwickelt.⁸³ Die Apparatur wurde später nach Berlin an das Institut für technische Physik zu dem Ballistiker Carl Cranz geschickt, der als einer der wichtigsten Pioniere der Hochgeschwindigkeitskinematografie gilt.⁸⁴

Der Ultrakinematograph und der Film scheinen Teile eines internationalen wissenschaftlichen Gabentauschs gewesen zu sein. Das Geschenk des Ultrakinematographen deutet ferner auf die Anerkennung von Prandtl als Filmemacher auch außerhalb von Europa hin.

Von Tokio aus reiste Prandtl dann über den Pazifik in die USA, wo er an zahlreichen Universitäten Vorträge hielt.⁸⁵ Erst fünf Monate nach der Abfahrt in Göttingen legte er schließlich am 20. Februar 1930 in New York mit einem Dampfer zur Heimreise ab, zurück zu seiner daheim gebliebenen Familie. Im Vorfeld seiner Weltreise hatte er sich bereits den wichtigsten technischen Hochschulen in den USA als Guest Lecturer angeboten. In seinem Repertoire waren fünf Vorträge, aus denen die Universitäten auswählen durften. Die Liste enthielt sowohl Empfehlungen zum Zielpublikum (wie »theoretical« oder »popular«), als auch Angaben zum Film: Hinter dem ersten Vortrag mit dem Titel »Formation of Vortices in Fluids of Small Viscosity« steht »With slides and film« und ferner in Klammern »Can be given popularly«.⁸⁶ Prandtls Biograf Michael Eckert hat die akribischen Vorbereitungen Prandtls bezüglich Gastgeschenke, Kleiderordnung und Vortragssprache beschrieben. Dieser Perfektionismus zeigt sich insbesondere im Umgang mit dem Film: Die Korrespondenzen mit den Gastinstituten drehten sich zu einem wesentlichen Teil um die Projektoren und damit verbunden um die Bedingungen einer angemessenen Vorführung. An seine Korrespondenzperson, Robert A. Millikan, am Caltech in Pasadena, wo er im Dezember und im Januar drei Vorträge hielt, schrieb er: »Ich nehme an, daß dieser Film im Institut vorgeführt werden kann, sonst würde man dazu eben in ein Theater gehen müssen.«⁸⁷ Bereits seinem russischen Kollegen Tschaplygin hatte er geschrieben, dass »dieser Teil des Vortrags natürlich auch in einem Kinotheater stattfinden« könnte.⁸⁸

Sowohl Prandtls Angebot einer populären Version seiner Präsentation inklusive Filmvorführung, als auch der Vorschlag, ein Filmtheater anstelle

83 Vgl. Toyotarô Suhara, Naozô Satô, Sidutake Kamei, »A New Ultra-Speed Kinematographic Camera Taking 40,000 Photographs per Second«, in: *Reports of the Aeronautical Research Institute, Tôkiô Imperial University* V/60 (1930), S. 187–194.

84 Vgl. AMPG I/44/416, III/61/253, III/61/785.

85 Vgl. Reisebericht bei Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 180–184.

86 AMPG III/61/1984.

87 Prandtl an Millikan, 9. 7. 1929, AMPG III/61/2136.

88 Prandtl an Tschaplygin, 8. 6. 1929, III/61/2136.

eines klassischen Vorlesungssaals aufzusuchen, verdeutlichen seine gewonnene Sicherheit im Umgang mit dem Film und zeugen von dem Willen, die Beeindrucksqualitäten des Films bewusst einzusetzen. Beides weist darauf hin, dass es Prandtl nicht mehr nur darum ging, den Film als Evidenz für seine Theorien vor seinen engsten Peers vorzuführen, sondern auch darum, ihn einem größeren, über den Globus verteilten Fachpublikum zugänglich zu machen. Hierfür passte Prandtl seine Choreografie filmischer Evidenz an. Zum Beispiel erstellte er immer wieder neue Filmversionen: Er ließ die Sequenzen mit dem rotierenden Zylinder aus dem Film austauschen und passte die Zwischentitel sprachlich seinem US-amerikanischen Publikum an. Noch auf der Reise ließ er sich immer wieder neue Versionen schicken. Nikuradse schrieb Prandtl nach Washington:

Sicher haben Sie einen Positivfilm, den wir nachträglich von den Geyer-Werken anfertigen ließen, inzwischen erhalten. Bei diesem Film glaube ich, daß eine Gleichmäßigkeit der alten und neuen Aufnahmen erzielt ist. Die Strömung mit der Wand gefällt mir nicht besonders, und ich werde diese Kopie nochmals machen lassen, damit Sie in Amerika einen guten Film vorführen können.⁸⁹

In den Versionen, die Prandtl auf der Weltreise vorführte, zeigt sich, wie seine früheren Vorführerfahrungen und die ihm bekannten Seherfahrungen in den Film einfließen: Der Film beginnt mit dem neuen englischen Titel *Production of Vortices by Bodies Travelling in Water*, auf derselben Folie ist Prandtl als »Director« aufgeführt – wobei nur er und nicht Oskar Tietjens namentlich genannt wird (Abb. 3.7). Darauf folgt ein Zwischentitel, dem die Methode der Herstellung der Aufnahmen zu entnehmen ist: »Small particles are scattered on the surface of the water, and the camera travels on a carriage with the object«, und in kleinerer und dünnerer Schriftart sowie in Klammern gesetzt darunter: »(Ahlborn's method of observation)«. Jede der folgenden Filmaufnahmen wird durch einen Zwischentitel angekündigt, der die Objektart benennt (Platte, Tragflügel, etc.), meist auch die Bewegungsweise der Kamera (mitfahrend oder nicht) und die Art der Wirbelbildung. Unter den Erklärungen finden sich einfache Skizzen der Objekte, Wirbel und teilweise der Kamerabewegung.

Bemerkenswert ist vor allem, dass die darauffolgenden Filmaufnahmen stets zweimal hintereinander gezeigt werden.⁹⁰ Die Wiederholung des

89 Nikuradse an Prandtl, 23. 9. 1929, AMPG III/61/783.

90 Vgl. Filmversion AMPG F 149. Am Ende des Films finden sich die rotierenden Zylinder. Bei

PRODUCTION OF VORTICES BY BODIES TRAVELLING IN WATER.

*Photographs taken in the Kaiser Wilhelm
Research Institute for Hydrodynamics
in Göttingen, Germany
(Director: L. Prandtl)*

*Small particles are scattered
on the surface of the water,
and the camera travels on a
carriage with the object.
(Ahlborn's method of observation)*

Flow past a plate

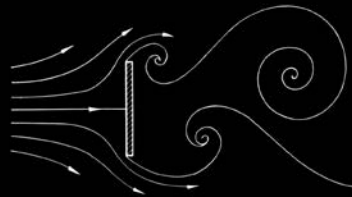


Abb. 3.7: Im Vorspann der englischen Version *Production of Vortices by Bodies Travelling in Water* von 1929 wird nur Prandtl als »Director« aufgeführt, Tietjens Name ist komplett aus dem Film verschwunden.

gesamten Films, wie sie etwa am Cavendish Laboratory noch nötig war, wurde zu Wiederholungen der Sequenzen, die verbalen Kommentare zum Film zu Zwischentiteln, womit das Performative filmisch wurde. Das Moment des *delightment* bei einmaliger Vorführung wurde gewissermaßen durch das

diesen Aufnahmen ist ebenso der Wagen zu sehen, der die Zylinder zieht. Die Aufnahmen wurden später entfernt.

Moment des *knowing what to look for* ergänzt, womit der Vermittlung gegenüber dem *wonders* mehr Platz eingeräumt wurde.

Wie Scott Curtis deutlich gemacht hat, mussten Wissenschaftler-innen bei der Vorführung wissenschaftlicher Filme auf einem schmalen Grat zwischen Attraktion und Unglaubwürdigkeit balancieren:

[T]he moving image was thrilling in itself: its invitation to mimesis, its temporal rush, its presence. Controlling the moving image completely would also make it less spectacular, less effective as a persuasive representation. So the researcher had to negotiate this duality by deciding how and when to use the motion picture in its two forms.⁹¹

Auch die Prandtl'sche Choreografie der Evidenz spielte sich mit ihren epistemischen, performativen und medialen Elementen auf einem schmalen Grat zwischen Anerkennung und Ablehnung, zwischen Durchhaltevermögen und Überwältigung ab. Mit der Wiederholung der Sequenzen ging Prandtl einen Schritt in Richtung Kontrolle des Bewegtbildes zuungunsten seines Spektakelcharakters.

Eine weitere Dimension der Choreografie filmischer Evidenz, die mit dem Spektakel in Verbindung steht, betrifft Prandtls neue Rolle. Im Zuge der Reise durch die USA geriet er immer mehr in die Rolle eines Showmans. Den Begriff des Showmans entlehnen wir sowohl der Wissenschaftsgeschichte mit ihrer Figur des *scientific* oder »electrical showmans«, der die Wissenschaft zu einem öffentlichen und bezahlbaren Spektakel machte,⁹² als auch der Filmwissenschaft. Der »cinema showman« des frühen Kinos appellierte direkt an das Publikum »inciting visual curiosity, and supplying pleasure through an exciting spectacle.«⁹³ Dabei geriet das Kino in seinen Techniken wie Inhalten selbst zur Attraktion. Auch beim weltreisenden Prandtl war die Vorführung von Filmaufnahmen aus seinem Labor eine Attraktion technischer wie inhaltlicher Art. Und Prandtl war es, der die Neugier seines

91 Scott Curtis, *The Shape of Spectatorship. Art, Science, and Early Cinema in Germany*, New York: Columbia University Press 2015, S. 124–125.

92 Simon Schaffer, »The consuming flame: electrical showman and Tory mystics in the world of goods«, in: John Brewer, Roy Porter (Hg.), *Consumption and the World of Goods*, London, New York: Routledge 1993, S. 489–526.

93 Tom Gunning, »The Cinema of Attraction[s]: Early Film, Its Spectator and the Avant-Garde«, in: Wanda Strauven (Hg.), *The Cinema of Attractions Reloaded*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2006 [1986], S. 381–388, hier S. 384. Die Wissenschaftshistorikerin Janina Wellmann brachte Gunnings Konzepte ebenso mit wissenschaftlichen Filmen in Verbindung (Janina Wellmann, »Science and Cinema«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 311–328, hier S. 318).

Publikums weckte und steuerte. Dass Prandtl als Showman durchaus erfolgreich gewesen sein muss, verdeutlicht eine satirische Einladungskarte zu einem Vortragsabend in Pittsburgh, auf der er als »Kippseifengrenzschichtflügelplastizitätshysteresisdirektor« vorgestellt wird. Auf der Vorderseite der Einladung sind – trotz der Prominenz der anderen Vortragenden wie etwa des Ingenieurs Stephen Timoshenkos – vornehmlich seine Theorien visuell skizziert (Abb. 3.8).

Die Skizzen imitieren mitunter die Bilder aus der veröffentlichten Lecture, die Prandtl in London gehalten hatte. Solche Albernheiten zeugen von dem hohen Maß an Bekanntheit, Anerkennung und Akzeptanz der Person wie der Bilder Prandtls, und zwar sowohl seitens der Peers als auch des breiteren akademischen Publikums. Auf die Rolle als *scientific* and *cinematic* Showman deuten zudem die zahlreichen schriftlichen Verhandlungen über die Honorare im Vorfeld der Vorträge hin.⁹⁴ Denn es galt auch in Bezug auf Film, was Simon Schaffer für die elektrischen Wunder des 18. Jahrhunderts festgehalten hat: »Wonders were lucrative«.⁹⁵ Prandtl schloss damit an eine Tradition der Performanz in den Wissenschaften an, die von Galileo über die öffentlichen Vorführungen der Naturphilosophie im 18. Jh. bis zu Pepper's Ghost im 19. Jahrhundert reicht.⁹⁶ Die Bedeutung der Performanz liegt dabei darin, dass die Wissenschaften immer schon auf die Zustimmung anderer – Peers, Fach-/Öffentlichkeit, Mäzen – angewiesen waren. Zentral sind die performende Person und ihr Verhältnis zum Publikum. Morus schreibt: »Performances highlight the problematics of just what kind of person the producer of knowledge needed to be – or needed to be seen to be – to carry an audience.«⁹⁷ Übertragen auf Prandtls Welttournee lässt sich festhalten: Der Showman Prandtl machte die Filmaufnahmen auf seiner Welttournee zu einem Kino wissenschaftlicher Attraktionen, also eines Kinos, das erstens etwas zeigt – die Strömung, Turbulenz, aber auch die Kinotechnik –; das zweitens die Zuschauer:innen zu überzeugen und beeindrucken sucht; und das drittens mit der Nutzung spezifischer Räume einhergeht, die Vorführung und Publikumsbezug sichern. Er hatte Vertrauen in seinen Film gewonnen und ebenso darin, als dessen »Director« aufzutreten und ihn im Wissen darum vorzuführen, dass er Beifall erhalten wird.

94 Vgl. bspw. Prandtl an S. W. Stratten, 9. 9. 1929, AMPG III/61/1984; vgl. auch Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 184.

95 Schaffer, »The consuming flame« (1993), S. 509.

96 Eine Übersicht findet sich in: Iwan Rhys Morus, »Performance«, in: Arne Hessenbruch (Hg.), *Reader's Guide to the History of Science*, London, Chicago: Fitzroy Dearborn Publishers 2000, S. 556–557; Etzemüller, *Der Auftritt* (2019).

97 Morus, »Placing Performace« (2010), S. 777.

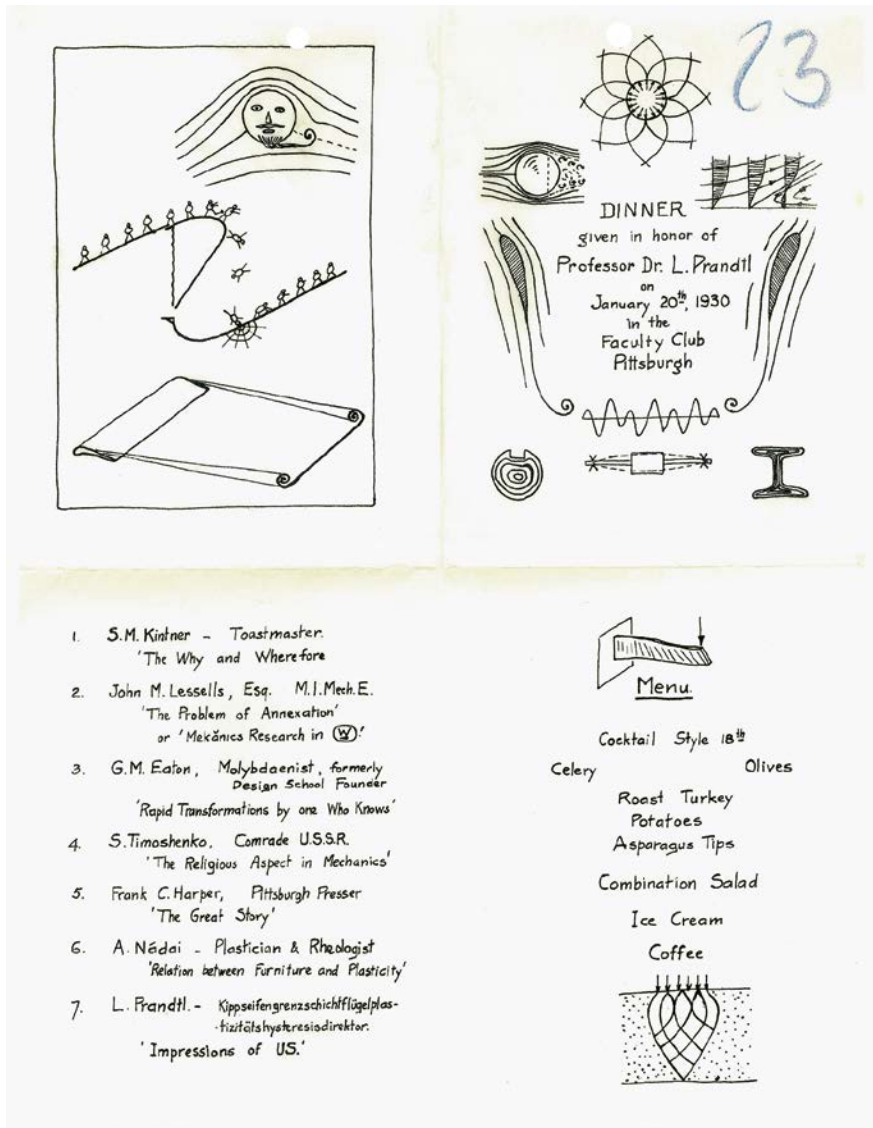


Abb. 3.8: Eine Einladungskarte zu einem Vortragsabend in Pittsburgh zeigt, dass Prandtls Präsentationen durchaus Showcharakter hatten. Darauf finden sich Skizzen, die den Film visuell zitieren. Prandtl wird als »Kippseifengrenzschichtflügelplastizitätshysteresisdirektor« bezeichnet.

Dass Prandtl seine Choreografie der filmischen Evidenz dabei stetig veränderte und anpasste – in dem er den Film veränderte und mehr oder weniger die Rolle des Showmans einnahm – zeigt, wie sich der Film und Prandtl co-biografisch entwickelten und relationierten. In diese Co-Biografie spielte auch die internationale Politik hinein.

Die Weltreise: wissenschaftlicher Internationalismus und nationale Interessen

Zu den Bedingungen der Möglichkeit für die Weltreise des Films und seines Machers gehörte das komplexe Zusammenspiel von wissenschaftlichem Internationalismus und nationalen Interessen in der Zwischenkriegszeit. Prandtls Weltreise 1929 und 1930 war unter anderem deswegen möglich, weil er seit längerem im Austausch mit der US-amerikanischen NACA stand. Konkret hatte Prandtl schon seit den frühen 1920er Jahren regen Kontakt mit dem Büro der NACA in Paris, welches geheimdienstliche Aufgaben für die USA übernahm und »aeronautical intelligence« sammeln sollte. Eckert zufolge sei es sogar die erste Aktivität der NACA in Deutschland gewesen, Beziehungen zu Prandtls Institut aufzubauen, und zwar zu einer Zeit, als die Entente-Mächte die deutsche Wissenschaft offiziell boykottierten. Trotz des offiziellen Ausschlusses von der internationalen Wissenschaft bot die NACA Prandtl einen Auftrag für einen umfassenden Bericht über die aerodynamischen Fortschritte Deutschlands während des Krieges an, den Prandtl gerne annahm.⁹⁸ Prandtl stimmte der Verfassung eines Reports über »the state of the art of hydrodynamics as applied to predicting the aerodynamic forces on bodies shaped like airplane wings and airship envelopes« zu. Die Zusammenarbeit war für ihn auch von ökonomischem Interesse. Die NACA zahlte Prandtl für den Bericht nicht weniger als den Halbjahreslohn eines Professors, ein enormer Betrag – auch wenn er zum Teil auf die Inflation zurückzuführen ist. Prandtl wiederum ersuchte bei der NACA um die Finanzierung seiner theoretischen oder experimentellen Forschung in Göttingen, wozu es allerdings nicht kam.⁹⁹

Dieser internationale Austausch war keineswegs selbstverständlich. Nach der Ruhrbesetzung war Prandtl beispielsweise nicht mehr bereit, sich an internationalen Kongressen neben französische oder belgische Fachkollegen zu setzen. Besonders die USA war aber an einem Austausch mit den deutschen Kollegen interessiert, da sie sowohl in der Produktion von Flugzeugen als

⁹⁸ Eckert, »Strategic Internationalism« (2005), S. 105–106.

⁹⁹ Ebd., S. 114.

auch in der aerodynamischen Forschung in den 1920er Jahren hinter Europa zurücklagen.¹⁰⁰ Eckert schreibt diesbezüglich: »The United States wanted to catch up with European advances in aerodynamics and used scientific internationalism as a strategy.«¹⁰¹

Prandtl konnte für seine Weltreise auf die bestehenden Kontakte zur NACA zurückgreifen. So war es der Director of Aeronautical Research der NACA, George W. Lewis, der Prandtl seine Hilfe für dessen Weltreise anbot und diesem Zugang zu den Einrichtungen seines Interesses verschaffte.¹⁰² Bei der Organisation seiner Reise kam Prandtl zudem zugute, dass er seit längerem freundschaftliche Beziehungen mit vielen weiteren akademischen Institutionen der USA pflegte, die konkret im Transfer von Personen, Publikationen und Berichten bestanden. Nicht zuletzt war die persönliche Bekanntschaft Prandtls mit zahlreichen Institutsdirektoren im Ausland, von denen einige zu seinen Schülern (wie von Kármán, Wieselsberger oder Tietjens) oder ehemaligen Kollegen (Timoshenko oder Arpad Nadai) gehörten, sicherlich hilfreich.

Die auf Wettbewerb und Kooperation angewiesene Wissenschaft der Weimarer Republik funktionierte, wie der Historiker Paul Forman es ausführt, nach den Grundsätzen einer »ideology of scientific internationalism«: »This ideology assumes a substantial measure of national sentiment and organization among scientists. Its function is to control and exploit this »scientific nationalism« in the interest of the advancement of science and of scientists.«¹⁰³ Ferner konnten internationale Aktivitäten auf das nationale Renommee der Wissenschaftler:innen zurückwirken: »Internationale Bekanntheit«, so Eckert, »war ein Pfund, mit dem Wissenschaftler in der heimischen politischen Arena wuchern konnten. Vor diesem Hintergrund verdienen Einladungen der Experten ins Ausland und ihre sonstigen internationalen Reiseaktivitäten auch über den jeweiligen Anlass hinaus Beachtung.«¹⁰⁴ Auf die Idee einer Co-Biografie von Film und Macher zurückkommend, lässt sich Vergleichbares auf den Film übertragen: Mit den internationalen Aktivitäten seines Urhebers gewann auch der Film an nationalem Gewicht.

Prandtls Weltreise war also einerseits durchaus das Ergebnis einer sich als global verstehenden Gemeinschaft von Wissenschaftler:innen, die

¹⁰⁰ Ebd., S. 105.

¹⁰¹ Ebd., S. 128.

¹⁰² George W. Lewis an Prandtl, 23. 7. 1929, AMPG III/61/1984.

¹⁰³ Paul Forman, »Scientific Internationalism and the Weimar Physicists: The Ideology and Its Manipulation in Germany after World War I«, in: *Isis* 64/2 (1973), S. 150–180, hier S. 155.

¹⁰⁴ Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 179.

gemeinsam am Fortschritt der Strömungsdynamik arbeiteten. Andererseits stand Prandtls Reise im Kontext nationaler Interessen, denn das fluid-dynamische Wissen war von Bedeutung für den Aufbau konkurrenzfähiger Luftstreitkräfte. Letzteres zeigt sich zudem daran, dass Prandtls Reise durch das Reichsverkehrsministerium (RVM) mitfinanziert wurde. Im Gegenzug hatte Prandtl »ein ausführliches Gutachten« zu erstellen, aus dem hervorgehen sollte,

welche Eindrücke und Erfahrungen Sie [Prandtl] bei der Ihnen gestellten Aufgabe, – Studium der amerikanischen Luftfahrtforschungseinrichtungen und Besuch der einschlägigen Laboratorien –, gewonnen haben und welche Verbesserungsvorschläge sich daraus für das heimische Luftfahrtwesen ergeben.¹⁰⁵

Hintergrund für diese Aufgabe war eine geheime Politik der Luftrüstung, die die Luftfahrtabteilung des RVM im Auftrag der Reichsregierung der Weimarer Republik betrieb, obwohl der Aufbau einer deutschen Luftwaffe mit dem Versailler Vertrag verboten worden war. Zu dieser Politik gehörte auch die Lenkung und Unterstützung der Luftfahrtforschung.¹⁰⁶ Von der immanent politischen Dimension der Reise zeugt auch ein Schreiben von Willy Fisch vom Reichsverkehrsministerium an das Auswärtige Amt. In diesem wird darum gebeten, »den Herrn Botschafter in Washington davon in Kenntnis zu setzen, daß es erwünscht ist, dem genannten Gelehrten [Prandtl] die etwa von ihm auf seiner Reise durch die Vereinigten Staaten erbetene Unterstützung nach Möglichkeit zu gewähren.« Prandtl sei ferner dazu angewiesen, sich im Bedarfsfall »unmittelbar an die Deutsche Botschaft in Washington zu wenden«.¹⁰⁷ Unter dem Schreiben findet sich der handschriftliche Vermerk »Die Überweisung erfolgt selbstverständlich vertraulich.«¹⁰⁸

Eine von Prandtls Kontaktpersonen im RVM war Adolf Baeumker, damals noch Referent für technische Neuentwicklung der Verkehrsluftfahrt und der Luftfahrtforschung.¹⁰⁹ Er wünschte Prandtl vor dessen Abfahrt noch eine

105 Willy Fisch/Reichsverkehrsministerium an Prandtl, 25. 3. 1930, AMPG III/61/1338.

106 Lutz Budraß, »Zwischen Unternehmen und Luftwaffe. Die Luftfahrtforschung im Dritten Reich«, in: Helmut Maier (Hg.), *Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften*, Göttingen: Wallstein 2002, S. 142–182.

107 Willy Fisch an das Auswärtige Amt betreffend Prandtl, 25. 7. 1929, AMPG III/61/1984.

108 Handschriftliche Notiz an Albert Betz, 12. 8. 1921, AMPG III/61/1984.

109 Zu Baeumker vgl. Helmuth Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970. Politische Geschichte einer Wissenschaft*, Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag 1992, insb. S. 181–182.

gute Reise.¹¹⁰ Das ist deswegen bemerkenswert, weil Baeumker seine Ziele einer Aufrüstung des Luftfahrtwesens bereits 1925 publik gemacht hatte:

Eins ist für uns deutsche Luftfahrer und für das ganze große Vaterland gewiß: Das nächste Ziel unserer Luftpolitik und der mit ihr eng zu verbindenden Außenpolitik des Reiches ist *Wiedergewinnung der Freiheit der deutschen Luftfahrt* in bezug auf die wirtschaftliche und politische Handlungsfreiheit.¹¹¹

Im Nationalsozialismus leistete Baeumker dann seinen Beitrag zur Aufrüstung der Luftwaffe. Der Historiker Lutz Budraß schreibt, dass er »der Expansion der deutschen Luftfahrtforschung während der nationalsozialistischen Aufrüstung von Beginn an seinen Stempel auf[drückte].«¹¹² Dabei war Baeumker bemüht, Prandtl in sein Vorhaben miteinzubeziehen.¹¹³

Der Bericht, den Prandtl dann für das RVM erstellte, enthält nebst Informationen zu aerodynamischen Einrichtungen in Russland und Japan, insbesondere solche zu den USA. So schreibt er bezüglich Japan: »Im übrigen ist naturgemäß diese Entwicklung noch immer um ein Gewisses hinter der in Europa und Amerika zurück, sodaß es für uns dort nicht so viel zu lernen gibt, wie etwa in Amerika.«¹¹⁴ Prandtl besuchte nach eigenen Aussagen »die wichtigsten Stätte[n] der Luftfahrtforschung« der USA. Die besuchten Einrichtungen klassifizierte er in »reine Versuchs- und Forschungslaboratorien« und in Universitätslaboratorien, und erstellte ein Ranking der Forschungseinrichtungen mit dem Bureau of Standards und Langley Field an der Spitze.¹¹⁵ Darüber hinaus enthält der Bericht die Namen der

110 Baeumker an Prandtl, 11. 9. 1929, AMPG III/61/1984.

111 Adolf Baeumker, »Die politischen Ziele der ausländischen Luftfahrt«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1924* (1925), S. 69–83, hier S. 83.

112 Budraß, »Zwischen Unternehmen und Luftwaffe« (2002), S. 143.

113 Vgl. Baeumker an Prandtl, »Bitte von Baeumker an Prandtl, ihn beim Ausbau der Luftfahrtforschung zu unterstützen«, 21. 2. 1933, in: Helmuth Trischler (Hg.), *Dokumente zur Geschichte der Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970*, Köln: Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt 1992, S. 102–107.

114 Prandtl, »Bericht über eine Studienreise durch Amerika«, handschriftlich ergänztes Typoskript, DLR GOAR 3663.

115 Ebd. Die Liste ist lang: Leland Stanford University, die Universität von Californien in Berkeley, das California Institute of Technology in Pasadena (mit Vortragszyklus), die Flugzeugfabriken da in der Nähe, die Universität von Illinois in Urbana und in Ann Arbor Michigan (an beiden Orten mit Vorträgen), die Ford Flugzeugfabrik in Detroit, die militärische Versuchsanstalt in Wright Field Dayton, Westinghouse Electric Company und das Carnegie Institute of Technology in Pittsburgh (mit Vortrag), die Versuchslaboratorien der Aluminium Company New

Personen, mit denen Prandtl in Kontakt stand, sowie detaillierte Angaben zu den besuchten Forschungseinrichtungen, vor allem zu den Windkanälen (inkl. Typologisierung und Abmessungen derselben) und Messgeräten (insb. Angaben zu optischen Messgeräten und Kameras). Der Bericht kann als Zeugnis dafür gesehen werden, dass der wissenschaftliche Internationalismus schließlich, wie Forman es beschreibt, weitgehend dem Nationalismus untergeordnet war, ja in dessen Dienste stand.¹¹⁶

Entscheidend für die Geschichte des Films ist dabei, dass diese Informationsbeschaffung im nationalen Interesse nicht nur auf die seit den frühen 1920er Jahren bestehenden Kontakte mit der NACA und die persönliche Bekanntschaft Prandtls aufbaute, sondern auch auf den aktuellen Wissenstransfer, den Prandtl in Form der Vorträge und Filmvorführung lieferte. Der Film bereite den Boden für den Austausch mit vor. Es ließe sich argumentieren, dass der Informationsaustausch auch ohne den Film stattgefunden hätte. Schließlich war es eine gängige Praxis, Institute und Forschungseinrichtungen anderer Länder zu besuchen, auch weil die internationalen Bemühungen um eine Standardisierung der Windkanäle in diese Zeit fallen. Zugleich ließe sich aber argumentieren, dass der Film besonders geeignet war, um sich Zugang zu den Institutionen zu verschaffen. Denn durch sein Vermögen, die Strömungsphänomene abstrakt und losgelöst von jeder Referenz auf das konkrete (in dem Fall deutsche) Forschungssetting abzubilden, wirkte er neutral und stärkte so den Eindruck, dass es sich um einen wissenschaftlichen Austausch jenseits nationaler oder institutioneller Interessen handelte. Zugleich vermochte er es durch seine ästhetische Kraft und die dazugehörige Prandtl'sche Choreografie zu begeistern, was der für einen freimütigen Austausch notwendigen Stimmung sicherlich keinen Abbruch tat. Auf diese Weise konnte der Film zu einem Teil des Austauschsystems eines *strategic scientific internationalism* werden. Es ist also zu vermuten, dass der Film nicht nur mittels des Wissens, das er enthält, sondern auch mittels seines Werts als Vorführfilm einen – wenn auch sehr indirekten – Beitrag zur Aufrüstung der deutschen Luftwaffe leistete.

Kensington, der Goodyear Zeppelin Company und der Rubber Company, das Bureau of Standards und National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) in Washington, das Laboratorium des NACA in Langley Field, die Luftfahrtabteilung der New York University, die Fokker-Werke in New York, das MIT in Boston (mit Vortragszyklus) und einige Abteilungen der Harvard Universität.

¹¹⁶ Forman, »Scientific Internationalism« (1973), S. 180.

Diebstahl und Spionageverdacht: politische und performative Relevanz des Films

Eine weitere Episode von der Weltreise legt nahe, dass der Film selbst respektive das in ihm enthaltene Wissen als sensibel eingestuft wurde. Nachdem Prandtl seinen Film bereits in Pasadena, Urbana, Chicago, Ann Arbor und anderen Städten gezeigt hatte, wurde ihm auf einem Detroitter Bahnsteig einer seiner Koffer gestohlen. Darin befand sich die Filmrolle mit dem Strömungsfilm. »I lost the film for my lecture about formation of vortices, and also all my preparations«, schrieb Prandtl von Washington aus dem Präsidenten des MIT.¹¹⁷ Insbesondere zwei der Reaktionen auf den Diebstahl sind bemerkenswert und verweisen auf die Bedeutung des Films auf der Weltreise. Erstens die Reaktion von Prandtl selbst. Obwohl die Kollegen vorschlugen, die Präsentation ohne den Film zu halten und stattdessen auf die Slides zu vertrauen,¹¹⁸ ließ sich Prandtl auf der nächsten Station seiner Reise eine Filmkopie von seinem ehemaligen Mitarbeiter Oskar Tietjens. Tietjens, der den Film mit Prandtl erstellt hatte, war mittlerweile in Pittsburgh für die Westinghouse Electric and Manufacturing Company tätig. Vor der Rückreise in die Göttinger Heimat schickte Prandtl die Filmrolle von Boston aus an Tietjens zurück.¹¹⁹

Die zweite Reaktion stammt von dem in der Schweiz geborenen und seit 1909 an der University of Illinois ansässigen Physiker Jakob Kunz, der Prandtls dortige Filmvorführung organisiert hatte.¹²⁰ Kunz äußert in einem Brief an Prandtl den Verdacht, dass es sich beim Diebstahl von Koffer und Film um Spionage handeln könnte: »Es ist uns allen sehr leid, dass Sie das böse Missgeschick in Detroit betroffen hat. Die Polizei in diesem Lande ist meistens sehr geschickt, und wir hoffen, dass Ihr Koffer noch gefunden

117 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 184; Prandtl an Stratton, 1. 2. 1930, MIT Archives, AC-12, Box 16, Folder 455.

118 »As he probably has mentioned to you, while passing through Detroit he lost a suitcase which contained the moving film which were going to be shown in New York but I have no doubt from what we have seen in Pittsburgh here that from the slides which he has a very interesting talk can be given.« (John M. Lessells, research dep. Pgh., an P. T. [*]etter, NY, ohne Datum, AMPG III/61/1985.)

119 Prandtl an Tietjens, 7. 4. 1930, AMPG I/44/1594.

120 Kunz ist bekannt für seine Beiträge zum Einsatz fotoelektrischer Zellen in der Astronomie und zur Entwicklung des Tonfilms. Bei der Vorführung des ersten Tonfilms 1921 in Urbana (von seinem Kollegen Jozef Tykocinski-Tykociner), auf dem Bild und Ton optisch auf demselben Filmstreifen vereint waren, befand sich eine Kunz-Zelle im Projektor. Prandtl an Kunz, 5. 9. 1929, AMPG III/61/1984.

wird – wenn es sich nicht um Spionage handelt.«¹²¹ Kunz war sowohl mit der Technik und den Möglichkeiten des Mediums Film vertraut als auch mit dem weltpolitischen Geschehen. Daher sollte der Spionageverdacht von Kunz nicht allzu vorschnell als unbedeutende Nebenbemerkung abgetan werden. Vielmehr lässt sich daraus etwas über den Status von Prandtls Präsentationen und insofern auch über den Status seines Films erfahren: Der Verdacht weist auf dessen durchaus bestehende (geo-)politische Relevanz hin. Wenn – wie Eckert feststellt – wissenschaftliche Informationsbeschaffung in jener Zeit selten Spionage beinhaltete,¹²² so wurde sie in diesem Fall zumindest als Möglichkeit erachtet.

Die Karikatur *Eine Reise um die Erde in 170 Tagen* zeigt, dass auch nach der Rückkehr Prandtls der Diebstahl der Filmrolle ein Thema blieb (Abb. 3.9). Diese stammt von Hermann Böhme, der von 1923 bis 1945 in der Aerodynamischen Versuchsanstalt als Fotograf und technischer Zeichner angestellt war.¹²³ Neben den Verkehrsmitteln, die Prandtl auf seiner Reise bestiegen hatte, den Wahrzeichen der besuchten Städte und einigen Begebenheiten, die vermutlich auf Erzählungen Prandtls zurückzuführen sind (die Pilze im »Land des Lächelns« oder »hungrige Möven« auf der Überfahrt von Japan in die USA) findet sich am unteren Bildrand die Episode »Wild-West oder Filmzensur in Detroit (USA)«. Zu sehen ist ein Auto mit einem geschlossenen Koffer davor. Rechts von dem Koffer ist die geöffnete Filmrolle zu sehen. Gleich einem Wasserwirbel, der sich im Strömungsfilm hinter einem der Objekte bildet, nimmt das Zelluloid hier die Form eines Wirbels hinter der Filmrolle an.

Mit dem Spionageverdacht deutet sich jene politische Dimension des Films an, die sich im Laufe seiner weiteren Geschichte zuspitzen und ausdifferenzieren wird. Das Spannungsverhältnis, dass der Film einerseits leicht Grenzen überwinden konnte und andererseits für dezidiert nationale Interessen erhalten musste, beschäftigt uns auch im folgenden Kapitel.

121 Kunz an Prandtl, 27. 1. 1930, AMPG, III/61/1985. Wir danken Michael Eckert für seine Hilfe beim Entziffern dieses Briefes.

122 Eckert, »Strategic Internationalism« (2005), S. 129.

123 Vgl. auch Klaus Hentschels Eintrag im DSI, https://dsi.hi.uni-stuttgart.de/index.php?tablename=dsi&function=details&where_field=id&where_value=13456, zuletzt besucht am 3. 5. 2025.



Abb. 3.9: Hermann Böhm's Karikatur *Eine Reise um die Erde in 170 Tagen* zu Prandtl's Weltreise thematisiert den Filmdiebstahl in Detroit und zeigt den Film, wie er sich zu einem Wirbel ausrollt.

Kapitel 4

Hochschulfilm, 1935–1940



Abb. 4.1: Visuell lag der Schwerpunkt des in Frakturschrift gehaltenen RfU-Siegels von 1935 auf dem »R« wie Reich.

Weiß auf dunklem Grund steht da »Reichsstelle für den Unterrichtsfilm« (RfU). Kreisförmig umschließt der Schriftzug ein großes »R« in Frakturschrift (Abb. 4.1). Visuell legt der Vorspann, den zahlreiche wissenschaftliche Filme ab 1936 erhalten sollten, den Schwerpunkt auf das Reich und nimmt so vorweg, dass der wissenschaftliche Lehrfilm im Nationalsozialismus zur wichtigen Aufgabe des neuen (Unrechts-)Staates wurde. Zentralisierung und Institutionalisierung standen auf dem Programm. Der Strömungsfilm ist einerseits ein Beispiel für diese Entwicklung, andererseits spielte er selbst eine wichtige Rolle bei der Institutionalisierung des wissenschaftlichen Films im Nationalsozialismus: Er kann als Modell für weitere Filme der Reichsstelle gesehen werden.

Den RfU-Vorspann erhielten die Göttinger Strömungsaufnahmen im Jahre 1936. Prandtl hatte seinen Film nach seiner Weltreise Ende der 1920er überarbeitet, es entstanden weitere Aufnahmen und damit ein zweiter Teil.

Die Reichsstelle veröffentlichte die beiden Teile als C 1 und C 2. »C« stand für Hochschulfilm und die Ziffern für die Nummer im Katalog, geordnet nach dem Veröffentlichungsdatum der Filme. Somit führten Prandtls Filme den Katalog für Hochschulfilm der neuen nationalsozialistischen Zentralinstitution für Lehr- und Forschungsfilm an. Mehr noch, sie avancierten zu den meistverkauften Filmen und entsprechend zu den *Blockbustern* der Institution. Die Signaturen C 1 und C 2 trugen die Filme von 1936 bis 2010, als das Institut für den Wissenschaftlichen Film, kurz IWF, die bundesrepublikanische Nachfolgeinstitution der Hochschulabteilung der RfDU, endgültig abgewickelt wurde. Der Vorspann sollte über diese lange Zeit hinweg aber nicht der gleiche bleiben. Das grundlegende Layout mit Kreis und Buchstaben in der Mitte blieb zwar erhalten. Doch mehrfach wechselten diese Buchstaben (Abb. 4.2 und 4.3).

Was bedeutete 1936 ein neuer Vorspann für einige fast zehn Jahre alte Filmaufnahmen? Wie veränderten ein paar Meter Zelluloid die Aufnahmen Prandtls? Die Neuveröffentlichung des Films steht für einen zentralen Moment sowohl in der Geschichte des Strömungsfilms wie auch in der Geschichte des wissenschaftlichen Films im Allgemeinen. Die politischen Umbrüche, die damit markiert sind, werfen Fragen auf: Inwiefern konnte und wurde der Film politisiert oder instrumentalisiert? Inwiefern politisierte er selbst?

Die Strömungsaufnahmen Prandtls und seiner Mitarbeiter waren nie unpolitisch. Das Labor ist kein Ort, der den gesellschaftlichen Interessen, Hierarchien und Machtbeziehungen enthoben ist. Wie wir in den ersten Kapiteln – in der Tradition der historisch-kontextualisierenden Wissenschaftsforschung – beschrieben haben, war die Produktion der Aufnahmen im Labor in zahlreiche Wissenspolitiken eingebunden. Von der finanziellen Förderung der Labortätigkeit (durch die Göttinger Vereinigung und die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft) über deren Inhalte (Grundlagenforschung für eine zum Teil verbotene Luftfahrt) bis zu den Subjekten, die die Wissenschaft praktizierten und darin Erfolg hatten (weiße, männliche Physiker bürgerlicher Herkunft und entsprechend national-konservativer Einstellung) – all das kam im Labor zusammen. Und auch in den Hörsälen, in denen Prandtl den Film vorführte, trafen nationale auf internationale Interessen, die nicht immer reibungsfrei koexistierten.

Dennoch stellt sich die Frage nach dem Politischen des Strömungsfilms in zugespitzter Weise in dem Moment, in dem er ohne seinen Macher im NS-Staat vertrieben und rezipiert wurde; in dem Moment, in dem er von einem Labor- und Konferenzfilm, der vor forschendem Fachpublikum vorgeführt wurde, zu einem didaktischen Film wurde, der sich nicht mehr



Abb. 4.2 und 4.3: In den folgenden Jahren wechselten die Siegel der RfU und RWU mehrfach.

ausschließlich an ein akademisches Publikum richtete; in dem Moment, als die Wahlgemeinschaften, die sich freiwillig versammelten um den Film zu sehen, zu Pflichtgemeinschaften wurden, denen der Film vorgesetzt wurde.¹ Hatten den Film zuvor vielleicht einige Tausend Menschen gesehen, ging die Zahl durch die RfU nun vermutlich in die Hunderttausende. Der Göttinger Blick auf basale Strömungsvorgänge wurde nun massenhaft auf 16mm-Filmrollen reproduziert, und zwar von einer Institution, die Anteil an einer der größten Katastrophen des 20. Jahrhunderts haben sollte.

Im Folgenden werden wir den Fragen nachgehen, wie die Laboraufnahmen zur Zeit des Nationalsozialismus gesellschaftlich wirksam und wie damit die Wissensbestände des Films politisch relevant wurden. Wie wurden wissenschaftliche Filme in der RfU institutionalisiert? Wer hat C 1 und C 2 gesehen? Welchen Interessen hatte der Film zu dienen? Und inwieweit hat diese Funktionalisierung oder, zugespitzt formuliert, Instrumentalisierung etwas mit dem Film selbst zu tun? Um diese Fragen beantworten zu können und um etwas über die Sehweisen des Films in jener Zeit zu lernen, gehen wir zunächst der Rolle Prandtls und dem Verhältnis von Politik und Wissenschaft im Nationalsozialismus nach. In der Folge geht es um das nationalsozialistische Filmunternehmen der RfU/RWU und dessen Rolle bei der Institutionalisierung des wissenschaftlichen Films im nationalsozialistischen Deutschen Reich. Anschließend zeichnen wir nach, welche Umarbeitungen des Films für die Übergabe an die RfU nötig waren und weswegen Prandtls Filme eine solch herausragende Rolle in der RfU spielten.

¹ Zur Pflichtgemeinschaft bei Lehrfilmen vgl. Charles Acland, Haidee Wasson, »Introduction: Utility and Cinema«, in: Dies. (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 1–14, hier S. 6.

Prandtls Haltung während des Nationalsozialismus lässt sich nicht auf einen Nenner bringen. Zu einfach wäre es in jedem Fall, Prandtls Selbstdarstellung nach dem Krieg als »unpolitischer Deutscher« zu folgen. So hatte er sich 1946 in einer an die britische Militärregierung gerichteten Denkschrift angesichts der anstehenden Entnazifizierung bezeichnet.² Die Quellen lassen verschiedene Interpretationen bezüglich Prandtls Rolle und Haltung im NS-Staat zu. Zum Beispiel die, dass er ein durchaus widerständiger Forscher war. Prandtl schützte nach der Machtergreifung jüdische Mitarbeiter, wofür er etwa durch einen anonymen Gutachter bei der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft angegriffen wurde.³ Er setzte sich ebenso bei Heinrich Himmler für Werner Heisenberg ein, nachdem dieser durch den antisemitischen Physiker Johannes Stark als »weißer Jude«⁴ im Kampfblatt der SS, *Das Schwarze Korps*, diffamiert wurde.⁵ Ferner bezog Prandtl klar Stellung gegen Philipp Lenards und Johannes Starks »Deutscher« respektive »Arischer« Physik.⁶ Ebenso war er nie der NSDAP beigetreten.⁷ Trotz gewisser anfänglicher Widerstände dem Regime gegenüber und der späteren Selbsteinschätzung lassen seine Handlungen jedoch auch andere Interpretationen zu. Die Bewertung seiner Person oder seines Verhaltens reichen von »[contradictory] political attitudes«⁸ und der »gray area« zwischen »Nazi« or the »resistance fighter«⁹ bis hin zur Betonung seines Optimismus bei

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

3 Vgl. Anonym, »Bericht zu den Anträgen des Professor Prandtl Göttingen, vom 6. Dezember 1934«, BAArch R/73/13700.

4 Vgl. Johannes Stark, »Science« is Politically Bankrupt«, in: Klaus Hentschel (Hg.), *Physics and National Socialism*, übersetzt aus dem Deutschen von Ann M. Hentschel, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser 1996, S. 157–160, hier S. 160. Erstveröffentlicht als »Die »Wissenschaft« versagte politisch«, in: *Das Schwarze Korps*, 15. 7. 1937.

5 Ludwig Prandtl, »Letter to Heinrich Himmler«, 12. 7. 1938, in: Hentschel (Hg.), *Physics and National Socialism* (1996), S. 172–175.

6 Vgl. ebd.; Michael Eckert, »Die Deutsche Physikalische Gesellschaft und die »Deutsche Physik«, in: Dieter Hoffmann, Mark Walker (Hg.), *Physiker zwischen Autonomie und Anpassung*, Weinheim: Wiley-VCH 2006, S. 139–172.

7 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 206.

8 Michael Eckert, »Strategic Internationalism and the Transfer of Technical Knowledge: The United States, Germany, and Aerodynamics after World War I«, in: *Technology and Culture* 46/1 (2005), S. 104–131, hier S. 130.

9 Klaus Hentschel, »Introduction«, in: Ders. (Hg.), *Physics and National Socialism* (1996), S. xvi–ci, hier S. xvi–xvii.

der Machtergreifung.¹⁰ Die Wissenschaftshistoriker Florian Schmaltz und Moritz Eppe schreiben:

Auch wenn Ludwig Prandtl sich zunächst noch für einzelne angegriffene Fachkollegen einsetzte, wurde er von der nationalsozialistischen Führung schon früh als Ratgeber für die nationale Planung der expandierenden Rüstungsforschung herangezogen. Auf Basis seiner Erfahrungen im Ersten Weltkrieg erteilte Prandtl dem RLM [Reichsluftfahrtministerium] bereits 1936 Ratschläge zur raschen Umstellung der Forschung im Kriegsfall auf militärische Bedürfnisse.¹¹

Ferner hätte er »keine grundsätzlichen politischen Bedenken gegenüber dem NS-Staat« gehabt, was sich auch bei seinen internationalen Auftritten zeigte. 1938 verteidigte Prandtl auf dem fünften internationalen Mechanik-Kongress in Cambridge (MA) den NS-Staat, weswegen er und der bereits im dritten Kapitel erwähnte britische Aerodynamiker Geoffrey Ingram Taylor aneinandergerieten. Selbst in späteren Briefen an Taylor und dessen Frau »rechtfertigte er die nationalsozialistische »Judenpolitik« und die gegen den Versailler Vertrag gerichteten außenpolitischen Handlungen Deutschlands.«¹² Prandtl war allem Anschein nach ein loyaler Bürger des NS-Regimes, von dem keine systemkritischen Äußerungen überliefert sind. 1942 übernahm er dann sogar den Vorsitz der sogenannten Forschungsführung des Reichsluftfahrtministeriums. Schmaltz und Eppe schreiben dazu:

Damit war Prandtl, der seit 1933 energisch alle sich bietenden Möglichkeiten des Ausbaus seines Forschungsinstituts ergriffen und den NS-Staat zustimmend anerkannt hatte, bei Kriegsende in die höchste einem Wissenschaftler offenstehende Position der NS-Luftfahrtforschung aufgestiegen.¹³

Spätestens als Vorsitzender der Forschungsführung gehörte Prandtl zu den einflussreichsten Naturwissenschaftlern der Zeit und muss mit dem »verbrecherischen Charakter des Nazi-Regimes in Berührung« gekommen sein.

¹⁰ Moritz Eppe, Florian Schmaltz, »Göttingen. Das Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation«, in: Peter Gruß, Reinhard Rürup (Hg.), *Denkorte. Max-Planck-Gesellschaft und Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Brüche, Kontinuitäten, Erinnerungen 1911–2011*, Dresden: Sandstein 2010, S. 152–163, hier S. 155.

¹¹ Ebd., S. 160.

¹² Ebd.

¹³ Ebd.; zur Forschungsführung vgl. Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 279–287.

Trotzdem lässt sich, wie sein Biograf Eckert betont hat, aus den Quellen nicht rekonstruieren, »wie viel Prandtl über den Einsatz von Zwangsarbeit beim Bau des monströsen Windkanals im Ötztal und beim Ausbau der LFM [Luftfahrtforschungsanstalt München] in Ottobrunn wusste.«¹⁴ 1942 erhielt er das Kriegsverdienstkreuz 1. Klasse mit Dank für seine »stete Einsatzbereitschaft und treue Mitarbeit«,¹⁵ womit sein Einsatz für den Vernichtungskrieg gewissermaßen auch offiziell ratifiziert wurde.

In der Person Prandtl spiegelt sich zudem das ambivalente Verhältnis des Nationalsozialismus zu den Wissenschaften wider, wie es der Historiker Ulrich Herbert beschrieben hat. Einerseits ein rationalitäts- und vernunftfeindliches Regime, das die von der NS-Elite ungeliebten Intellektuellen und Professor-innen ideologisch gängelte. Andererseits eine Diktatur, die die Expertise der Wissenschaftler-innen begierig nachfragte.¹⁶ Während Prandtl sich gegen die Gängelungen, Bevormundungen und ideologischen Verbrämungen der »Deutschen« Physik wehrte, war er zugleich williger Mittäter, der keine Skrupel hatte, die Aufrüstung voranzutreiben. Prandtl gehörte als Ingenieur zur wichtigsten Gruppe von Wissenschaftler-innen für das Regime. Ganz Wissenschaftsmanager, hatte er keine moralischen Bedenken, die Chancen zu nutzen, die ihm dieses Regime bot, um bis dato undenkbar umfangreiche Forschungsmittel zu erhalten.

Was bedeutet es aber nun für den Film, dass sich Prandtl zwar als Nazi nicht hervorgetan, aber sowohl mit seiner Forschung als auch in seiner Rolle als renommierter Wissenschaftler dem nationalsozialistischen Regime zugearbeitet hat – ohne diese Rolle nach dem Krieg moralisch zu reflektieren? Lässt sich anhand der Geschichte des Films im Nationalsozialismus nochmal besser verstehen, inwiefern Prandtls Handeln und seine wissenschaftliche Produktion in das Regime und dessen Ziele eingebunden waren?

Der Historiker Mitchell Ash hat die zentralen Erkenntnisse des in den 1970er Jahren einsetzenden Paradigmenwechsel in der Erforschung der Wissenschaften während des Nationalsozialismus in vier Punkten zusammengefasst: Erstens sollte die Wissenschaftsentwicklung nach 1933 nicht allein als »ideologieverseuchte Pseudowissenschaft« beschrieben werden.¹⁷ Versuche, die Wissenschaften zu ideologisieren, spielten zwar im Nationalsozialismus eine wichtige Rolle, allerdings waren diese »ohne eine angebotene oder versprochene Nützlichkeit für konkrete politische Projekte selten alleine

14 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. 361.

15 Zitiert nach ebd., S. 284.

16 Ulrich Herbert, *Wer waren die Nationalsozialisten?* München: C. H. Beck 2021, S. 106.

17 Mitchell Ash, »Die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus«, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 18 (2010), S. 79–118, hier S. 83–84.

ausschlaggebend.« Die »ideologischen Varianten der jeweiligen Wissenschaften« hätten sich häufig genug »in der Praxis als unbrauchbar« erwiesen, wofür die »Deutsche« Physik ein gutes Beispiel ist.¹⁸

Zweitens sollte davon ausgegangen werden, dass sich Wissenschaft und Politik interaktiv zueinander verhalten: die »Selbstmobilisierung«¹⁹ der Wissenschaftler·innen bestand »nicht allein in ideologischer Hinsicht, sondern auch und vor allem im Hinblick auf ihre Zuarbeit im Rahmen zentraler politischer Projekte des NS-Regimes«. Eng verbunden damit ist drittens die Erkenntnis, dass die Trennung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung bei der Beurteilung ihrer Bedeutung für das Regime meist wenig weiterhilft, da die sogenannten Grundlagen auch für militärische und technokratische Ziele funktionalisiert wurden.²⁰ Ash hebt dabei beispielhaft die Luftfahrtforschung heraus.²¹ Insbesondere die Grundlagenforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung sei kriegsrelevant gewesen, da sie für die Entwicklung neuer Waffensysteme notwendig war.²² »Der Einsatz von Wissenschaft im Kampf für das Vaterland ist kaum »unideologisch« und schon gar nicht »wertneutral« zu nennen.«²³ Viertens schreibt Ash, sei die »Selbstdarstellungen und Neupositionierungen von Wissenschaftlern und ihrer Forschungsprogramme nach 1945« scharf zu kritisieren.²⁴

Ash schlägt vor, das Verhältnis von Wissenschaft und Politik als »Ressourcen für einander« zu bestimmen. Damit wendet er den bereits durch

18 Mitchell Ash, »Wissenschaft und Politik als Ressourcen für einander«, in: Rüdiger von Bruch, Brigitte Kaderas (Hg.), *Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts*, Stuttgart: Steiner 2002, S. 32–51, hier S. 43; vgl. auch Sören Flachowsky, Rüdiger Hachtmann, Florian Schmaltz (Hg.), *Ressourcenmobilisierung. Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem*, Göttingen: Wallstein 2016.

19 Zur »Selbstmobilisierung« und zur wissenschaftlich-technischen Forschung im Nationalsozialismus vgl. Karl Heinz Ludwig, *Technik und Ingenieure im Dritten Reich*, Düsseldorf: Athenäum-Droste-Taschenbücher 1974, insb. S. 210–300; Herbert Mehrrens, »Kollaborationsverhältnisse. Natur und Technikwissenschaften im NS-Staat und ihre Historie«, in: Christoph Meinel, Peter Voswinckel (Hg.), *Medizin, Naturwissenschaft, Technik und Nationalsozialismus. Kontinuitäten und Diskontinuitäten*, Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaft und der Technik 1994, S. 13–32.

20 Ash, »Die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus« (2010), S. 83–84.

21 Ash, »Wissenschaft und Politik« (2002), S. 42–43.

22 Ash bezieht sich auf Moritz Epples Forschung; Moritz Eppele, »Rechnen, Messen, Führen. Kriegsforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung«, in: Helmut Maier (Hg.), *Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften*, Göttingen: Wallstein 2002, S. 305–356.

23 Ash, »Wissenschaft und Politik« (2002), S. 41.

24 Ash, »Die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus« (2010), S. 83–84.

Andrew Pickering in die Wissenschaftsforschung eingebrachten Ressourcenbegriff dezidiert auf das Verhältnis von Wissenschaft und Staat und auf die Zeit des Nationalsozialismus an.²⁵ Der Begriff erlaubt es, anstelle einer »Indienstnahme« oder eines »Missbrauch[s]« der Wissenschaft durch die Politik – alles Rhetoriken, die von »unreflektierte[n] Moralisierungen« geprägt seien – von einer gegenseitigen Mobilisierbarkeit der Ressourcen aus den jeweiligen Sphären zu sprechen.²⁶ In den Worten des Wissenschaftshistorikers Tiago Saraiva lässt sich festhalten: »Fascism is not taken as a pre-given context in which some scientists operated, but as a historical context to which scientists' practices and objects contributed«.²⁷ Es war nicht einfach der Faschismus, der alternative Wissenschaften produzierte, die teilweise bereits von ihren Zeitgenossen als Pseudowissenschaft abgetan wurden. Es verhielt sich komplexer: Die Wissenschaften selbst hatten ihren Anteil an der Produktion des Faschismus.²⁸ Das betrifft nicht nur Wissenschaftsbereiche, die sich mit dem Menschen befassten und die in Verbrechen und Gewalttaten mündeten, sondern auch scheinbar wertneutrale ingenieurtechnische Bereiche wie die Fluid- und Aerodynamik. Auch diese, auf den ersten Blick wenig bis kaum ideologisch belasteten Wissenschaftsbereiche waren engstens mit der Politik verflochten. Sie waren kriegsrelevant, wenn nicht gar ideologisch – auch in der Erforschung von Grundlagen.

Michael Eckert hat Ashs Konzept auf Ludwig Prandtl angewandt. Eckert zählt Prandtls Grenzschicht- oder Tragflügeltheorie zu den kognitiv-konzeptionellen Ressourcen der NS-Politik und die Windkanäle sowie anderen Versuchseinrichtungen zu den apparativ-institutionellen Ressourcen. Daneben seien die Denkschriften und andere Texte, in denen Prandtl direkt Politiker adressiert hatte, als rhetorische Ressourcen zu verstehen. Letztlich schlussfolgert Eckert: »Das Ressourcenkonzept, mit dem die vielfältigen Beziehungen zur Politik aufscheinen, zeigt die Unvereinbarkeit zwischen der Selbsteinschätzung Prandtls als ›unpolitischer Deutscher‹ und seiner

25 Bei Pickering ist die Rede von einem »heterogenous field of conceptual, material, organizational and institutional resources for practice« und von engen Verknüpfungen mit der Idee der Zirkulation kultureller Ressourcen, vgl. Andrew Pickering, »Big Science as a Form of Life«, in: Michelangelo De Maria, Mario Grillo, Fabio Sebastiani (Hg.), *The Reconstructing of Physical Science in Europe and the United States 1945–1960*, Singapur, u. a.: World Scientific 1989, S. 42–54, hier S. 49, S. 52.

26 Ash, »Wissenschaft und Politik« (2002), S. 32–33; vgl. Ders., »Wissenschaft und Politik. Eine Beziehungsgeschichte im 20. Jahrhundert«, in: *Archiv für Sozialgeschichte* 50 (2010), S. 11–46.

27 Tiago Saraiva, *Fascist Pigs. Technoscientific Organisms and the History of Fascism*, Cambridge, MA: MIT Press 2016, S. 13.

28 Ebd., S. 6.

tatsächlichen politischen Rolle.«²⁹ Prandtl hatte sowohl die vom NS-Staat bereitgestellten Bestände und Mittel genutzt (bis hin zu Zwangsarbeit und aus Menschenversuchen gewonnenes Wissen – unabhängig von der genauen Kenntnis dieser Tatsachen),³⁰ als auch selbst zahlreiche relevante Ressourcen bereitgestellt, die wiederum politischen Zwecken und Zielen (auch dem Vernichtungskrieg) dienten.

Inwieweit war auch der Film eine solche Ressource? Ist der Film ein Beispiel dafür, wie die wissenschaftliche Produktion in der Fluidodynamik mit der Rüstungsproduktion und Politik aufs Engste verknüpft war und wie Prandtls Forschung dabei zum Aufbau und zur Stabilisierung des NS-Regimes beitrug? Und inwiefern lernen wir dadurch, dass wir den historischen Trajektorien eines technowissenschaftlichen Objektes folgen, etwas über die Entstehung und Ausbreitung eines faschistischen Regimes?³¹ Oder, um in der Metaphorik des Fluiden zu bleiben, welche Verlaufsbahnen kanalisiert den Film in die anschwellenden Strömungen des Faschismus? Um diese Fragen zu beantworten, gilt es zunächst, die Institution zu beschreiben, die den Film 1936 veröffentlicht hatte, um dann die Funktion des Films in dieser zu bestimmen.

Die Reichsstelle für den Unterrichtsfilm: vom Klassenzimmer in die Hörsäle

Die RfdU wurde 1934 gegründet und unterstand dem von Bernhard Rust geleiteten Reichsministerium für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung (REM). Obwohl die RfdU nicht durch Joseph Goebbels Reichsministerium für Volksaufklärung und Propaganda (RMVP) gesteuert wurde, dem die Kontrolle und Lenkung der Presse, des Radios und des Films oblag, war sie dennoch ein Mittel zum gezielten Einsatz des Mediums Film für die NS-Pädagogik und Politik. Ziel der RfdU war es, ein flächendeckendes Verleih- und Vertriebssystem für Schulen und wenig später auch für Hochschulen aufzubauen, um gemäß Rust die »Einheitlichkeit des deutschen Bildungswesens«³² zu sichern. Die Geschichte, wie die Lehrfilme ins (deutsche) Klassenzimmer kamen, ist daher auch für das Verständnis der weiteren Pfade von Prandtls Filmaufnahmen zentral.

Die Idee des Einsatzes von Film als Unterrichtsmittel in Schulen und Hochschulen ist älter als der nationalsozialistische Plan zur Vereinheitlichung oder eben Gleichschaltung des Bildungssystems. Es gehört zu den frühen Grün-

29 Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher* (2017), S. VII.

30 Ebd., S. 324.

31 Saraiva, *Fascist Pigs* (2016), S. 3.

32 Bernhard Rust, Runderlass, 6. 2. 1935, AMPG I/44/1305.

dungsmythen der Kinematografie, dass Filme die Klassenzimmer erobern und früher oder später die Lehrbücher ersetzen werden. Zunächst waren es die Filmproduktionsfirmen selbst, die Filme in Abstimmung mit den Lehrplänen der Schulen und Hochschulen erstellten, um so neue Märkte zu erobern: in Großbritannien etwa die Charles Urban Trading Company, in Frankreich Pathé oder Gaumont und in Deutschland die 1918 gegründete Kulturfilmabteilung der Ufa.³³ Auch wenn diese Firmen hunderte populärwissenschaftliche Lehrfilme produzierten, waren die Versuche, ein Verleihsystem aufzubauen, das direkt in die Schulen reichte, zunächst von wenig Erfolg gekrönt.

Bereits vor dem Ersten Weltkrieg und verstärkt in den 1920er Jahren forderten dann auch zahlreiche Pädagog:innen, Film als Unterrichtsmittel in den allgemeinbildenden Schulen, der Berufsausbildung sowie der Universitätslehre einzusetzen.³⁴ Eine von der Kinoindustrie abgekoppelte Schulkinematografie sollte die Vorurteile gegen das Medium abbauen und im Sinne der frühen Kinokritik die Kinder vor dem angeblich verführerischen und verderblichen Einfluss des Spielfilms schützen. Dem Medium Film wurde zugutegehalten, komplexe Vorgänge zu vereinfachen und reproduzieren zu können, was eine genaue Beobachtung von Prozessen ermöglichen würde, die in Schulen sonst nicht zugänglich waren.

Wichtige institutionelle Akteure dieser zunehmend international agierenden Schulfilmbewegung waren die (erst Internationale, dann) Europäische Lehrfilmkammer in Basel und das Internationale Lehrfilminstitut in Rom, die beide 1927 gegründet wurden. Während die Lehrfilmkammer das Ziel hatte, den Lehrfilm als Bildungsmedium in Europa zu etablieren, war das Hauptanliegen des Lehrfilminstituts, den zollfreien Austausch von Lehrfilmen zwischen

33 Zu den frühen Hoffnungen auf Film als Lehrmittel vgl. Oliver Gaycken, *Devices of Curiosity. Early Cinema & Popular Science*, New York: Oxford University Press 2015, S. 98, S. 106; zur Ufa Kulturfilmabteilung vgl. Peter Zimmermann, *Dokumentarfilm in Deutschland: von den Anfängen bis zur Gegenwart*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung 2022, S. 43–45.

34 Vgl. Ursula von Keitz, »Die Kinematographie in der Schule. Zur politischen Pädagogik des Unterrichtsfilms von RfU und RWU« in: Peter Zimmermann, Kay Hoffmann (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in Deutschland. Bd. 3 ›Drittes Reich‹ 1933–1945*, Stuttgart: Philipp Reclam jun. 2005, S. 463–488; Erich Meyer, »Die Stahlindustrie im Unterrichtsfilm«, in: *Ferrum: Nachrichten aus der Eisenbibliothek* 76 (2004), S. 42–49; für die ähnliche Entwicklung der Schulfilmbewegung in anderen Ländern vgl. Devin Orgeron, Marsha Orgeron, Dan Streible (Hg.), *Learning with the Lights Off. Educational Film in the United States*, New York: Oxford University Press 2012, darin insb. die Einleitung sowie der Beitrag von Jennifer Peterson; Anita Gertiser, Angela Hauser, John Wäfler (Hg.), *Der Film geht in die Schule: 100 Jahre Schweizer Schul- und Volkskino*, München: Kopaed 2021, darin insbesondere die Beiträge von Anita Gertiser, John Wäfler und Audrey Hostettler; Victoria Cain, *Schools and Screens. A Watchful History*, Cambridge, MA: MIT Press 2021.

den Ländern zu ermöglichen.³⁵ Obwohl die Idee des Lehrfilms bereits vor 1933 zu international ausgerichteten Institutionalisierungen geführt hatte, erhielt sie vor allem im Faschismus und im Nationalsozialismus die entsprechende staatliche Unterstützung. Als Vorbild für die RfdU diente konkret das italienische Filmunternehmen Istituto LUCE (L'Unione Cinematographica Educativa), das 1925 durch Benito Mussolini verstaatlicht wurde. Die RfdU sollte später auch eng mit LUCE zusammenarbeiten.³⁶ Die staatsnahe Umsetzung einer Lehrfilminstitution mit den entsprechenden finanziellen Ressourcen ist also auf einen faschistischen Antrieb zurückzuführen. Im Gründungserslass der RfdU ist klar formuliert, dass der Film politisch instrumentalisiert werden sollte: »Erst der neue Staat hat die psychologischen Hemmungen gegenüber der technischen Errungenschaft des Films völlig überwunden und er ist gewillt, auch den Film in den Dienst seiner Weltanschauung zu stellen.«³⁷

Die Einführung von Film als Lehrmittel war mit einigen konkreten technischen, finanziellen und organisatorischen Herausforderungen verbunden.³⁸ Auch in Bezug auf diese Herausforderungen lässt sich konstatieren, dass die RfdU auf bestehende Entwicklungstendenzen aufbauen und sie für ihre Zwecke nutzen konnte. Die größte technische Schwierigkeit bestand in der Entflammbarkeit, Explosivität und Toxizität des damals üblichen 35mm-Filmmaterials, der Nitrozellulose. Die Vorführung, Lagerung und der Transport der Nitrofilmrollen waren schwierig oder sogar gefährlich. Diese Probleme wurden in den 1920er Jahren mit der Einführung des 16mm-Schmalfilms behoben, bei dem standardmäßig sogenannter Sicherheitsfilm auf Acetatbasis verwendet wurde. Die Bedeutung dieser technischen Neuerung kann kaum überschätzt werden: Ein Großvorhaben wie das der RfdU wurde dadurch erst ermöglicht.³⁹

Auch zur Lösung der finanziellen Probleme – und in diesem Zuge ebenso

35 Michael Annegarn-Gläß, *Neue Bildungsmedien revisited: Zur Einführung des Lehrfilms in der Zwischenkriegszeit*, Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt 2020, S. 94–96.

36 Zur Spannung zwischen der italienischen und internationalen Lehrfilmbewegung vgl. Christel Taillibert, »Le cinéma d'éducation et le projet internationaliste de la SDN: la brève histoire de l'Institut international du cinéma éducatif«, in: *Relations internationales* 183 (2020), S. 95–112, <https://doi.org/10.3917/ri.183.0095>. Zur Lehrfilmbewegung als transnationale Phänomen vgl. Annegarn-Gläß, *Neue Bildungsmedien revisited* (2020), insb. S. 94–97.

37 Bernhard Rust, Runderlass »Unterrichtsfilm und amtliche Bildstellen«, 26. 6. 1934, in: *Der Bildwart. Blätter für die Volksbildung* 12/7 (1924), S. 21–27, hier S. 24.

38 Vgl. Wolfgang Tolle, *Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*. Berlin: Hoenemann 1961, S. 13.

39 Zur Etablierung des 16mm-Filmformats vgl. u. a. Haidee Wasson, *Everyday Movies: Portable Film Projectors and the Transformation of American Culture*, Berkeley: University of California Press 2021, S. 58–65.

der organisatorisch-strukturellen Probleme – bestanden bereits in den 1920er Jahren Ansätze, die regional zunächst sehr unterschiedlich waren. Erst mit dem per Verordnung verfügten Zusammenschluss der Landes-, Kreis- und Bildstellen zu einer organisatorischen Einheit, einer Zentralstelle mit ministerieller Macht, konnte der Plan zur nationalen Finanzierung realisiert werden.⁴⁰ Vorbild dafür war Egon von Werners Schmalfilmdienst in Bayern, der das Vorhaben für die RfdU ausarbeitete und von 1934 bis 1938 als deren Geschäftsführer fungierte.⁴¹ Finanziert wurde die neue Zentralstelle konkret über den sogenannten Lehrmittelbeitrag. Die Kinder respektive deren Eltern sollten gemäß Planung eine Reichsmark, in der Umsetzung schließlich 80 Pfennig pro Kind und Jahr bezahlen.⁴²

Die Frage, in welchem Ausmaß die Filme und das Programm der RfdU und später der RWU ideologisch geprägt waren, beschäftigt die Geschichtsschreibung bis heute. Die Rolle der Institution im Nationalsozialismus wurde insbesondere aufgrund der Kontinuitäten von Personal und Filmen über die NS-Zeit hinaus diskutiert. Je nach Auswahl der Quellen und je nach der politischen Agenda der Autor:innen fiel die Bewertung dieser Rolle sehr unterschiedlich aus. So wurde in der Nachkriegszeit die Neutralität und Unabhängigkeit der Institution – im Rahmen einer Selbsthistorisierung seiner leitenden Angestellten – betont: Kurt Zierold, Ministerialrat, Mitbegründer und Vorsitzender der RfdU, hielt fest, dass der Nationalsozialismus am »Wesen und an der Gestaltung des deutschen Unterrichtsfilms [...] überhaupt keinen Anteil« hatte.⁴³ Und Kurt Gauger, Leiter der Abteilung Hochschulfilm und späterer RWU-Präsident, beurteilte das »Gesamtbild der politischen Geschichte« der Institution als »eine kleine Säule, die bestehen bleiben sollte für den Neuaufbau eines pädagogischen Hauses auch nach dem Ende des N.S.-Regimes«. Er schrieb gar, die RfdU sei »von Anbeginn an eine Oase im Naziregime« gewesen.⁴⁴ Dass diese Selbsthistorisierung wenig historischen Wert hat, wird schon daraus ersichtlich, dass der Psychotherapeut Gauger beken-

40 Von Keitz, »Die Kinematographie in der Schule« (2005), S. 465–467.

41 Knut Hickethier, »Zur Tradition schulischer Beschäftigung mit den Massenmedien. Ein Abriss der Geschichte deutscher Medienpädagogik«, in: Reent Schwarz (Hg.), *Manipulation durch Massenmedien, Aufklärung durch Schule? Eine Bestandaufnahme*, Stuttgart: Metzler 1974, S. 21–52, hier S. 34.

42 Ebd., S. 34; vgl. Rust, Runderlass (6. 2. 1935).

43 Zierold an Buckland-Smith, 2. 1. 1947, abgedruckt in: Malte Ewert, *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)*, Hamburg: Verlag Dr. Kovač 1998, S. 401–410, hier S. 402.

44 Gauger an Fridolin Schmid, Januar 1950, abgedruckt in: Ewert, *Die Reichsanstalt* (1998), S. 414–444, hier S. 422.

nender Nationalsozialist und Rassenhygieniker war, der zudem in der nationalistischen und antisemitischen Organisation Consul aktiv war, die diverse politische Morde verübt hatte, so auch den auf den deutschen Außenminister Walter Rathenau.⁴⁵ Trotz dieser persönlichen, wissenschaftlichen und institutionellen Linientreue wurde Gauger zur zentralen Figur in der Institutsgeschichtsschreibung – und zwar als vermeintlicher Gegner des Naziregimes.

1961 veröffentlichte der ehemalige RfdU-Prokurist Wolfgang Tolle seine Monografie *Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*. Tolle attestiert der RfdU/RWU eine »erstaunliche[] Neutralität«. Er schuf die Grundlage späterer historischer Arbeiten, indem er die zentralen Entlastungsargumente versammelte: Die für die Gestaltung der Filme zuständigen Personen seien keine NSDAP-Mitglieder gewesen (Zierold) und entsprechend sei »das Wort vom Dienst an der nationalsozialistischen Weltanschauung eine Phrase« geblieben. Diejenigen, die Mitglieder waren (Gauger), hätten ihre Stellung genutzt, um »die sachliche Arbeit« der »Mitarbeiter zu decken«. Man sei »allen politischen Forderungen« erfolgreich ausgewichen. Dass dem so war, hätte sich nach 1945 insofern bestätigt, als die Filme in den Schulen wiederverwendet werden konnten. Ferner hätte Goebbels nie Einfluss über die RfdU gewinnen können; und schließlich sei die RfdU ein »Zufluchtsort für Personen« gewesen, »die dem nationalsozialistischen System gar nicht genehm waren«.⁴⁶

Noch in den 1990er Jahren entstanden zwei Dissertationen zur RfdU/RWU, die ebendiese Argumente reproduzierten: Malte Ewerts *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)* und Michael Kühns *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus*. Ewert relativiert darin die Rolle der RfdU/RWU im NS-Machtapparat: Es wäre auch ohne die Machtübernahme zur Gründung einer vergleichbaren Institution gekommen, die »ideologische Unabhängigkeit« wäre durch die beiden verantwortlichen Personen (Zierold/Gauger) gewährleistet gewesen, da diese »der NS-Ideologie zumeist kritisch gegenüberstanden«, was Ewert mittels der Entnazifizierungsakten der beiden belegt sehen will.⁴⁷ Kühn geht in seiner Arbeit einem breiten Fragenkatalog nach und will neben den Aktenbeständen auch die »Gesamtheit der RWU-Filme und Begleitmaterialien« als Grundlage seiner Forschung

45 Zu Gauger vgl. Ulf Schmidt, *Medical Films, Ethics and Euthanasia. The History of the Reich Office for Educational Films / Reich Institute for Films in Science and Education*, Husum: Matthiesen Verlag 2002, S. 83–88.

46 Tolle, *Reichsanstalt* (1961), S. 17–18.

47 Ewert, *Die Reichsanstalt* (1998), S. 259, S. 257.

hinzugezogen haben.⁴⁸ Auch er verteidigt die RfdU als »politische Oase«, die als einzige Institution Filme ohne Zensur veröffentlichen konnte und von Goebbels/RMVP unabhängig, ergo unideologisch gewesen sei. Ferner behauptet er, dass »kaum« »eigentlich rassenkundliche Filme« erstellt worden seien.⁴⁹ Solche Legitimationsstrategien, die darauf abzielen, Personen, Filme und Funktion der RfdU/RWU innerhalb des NS-Machtapparats als primär unabhängig von NS-Ideologien einzustufen, dienten mitunter der Wiederverwendung der Filme und dem Fortbestehen der Institution in der Bundesrepublik.

Seit den 1970er Jahren finden sich jedoch auch kritische Stimmen, die eine Neubewertung der Institution fordern. Ihre behauptete Sachlichkeit und Neutralität wurde bei dem Medienwissenschaftler Knut Hickethier zu einem »Eindringen faschistischer Ideologie in die Schule«: »Gerade mit diesen scheinbar unpolitischen Filmen konnte so nachhaltiger die NS-Ideologie des Völkischen, der Blut- und Boden-Gemeinschaft und von Kraft durch Freude verbreitet werden.«⁵⁰ Die Filmwissenschaftlerin Ursula von Keitz hat herausgehoben, dass die in der Lehrfilmbewegung entwickelten Ideen in Rusts Erlass übernommen und »ideologisch gefüllt« wurden. Sie sieht dies auch in den veröffentlichten Filmen bestätigt. Die volkswissenschaftlichen Filme würden eine »Blut-und-Boden-« sowie eine »Volksgemeinschafts-ideologie« propagieren und die biologischen Filme wären häufig den Ideen der »Vererbungslehre« und »Rassenhygiene« gewidmet.⁵¹ Auch die aktuellere medienpädagogische Fachliteratur thematisiert verstärkt die ideologischen Aspekte der Filme.⁵² Ferner wurde die Dissertation von Kühn durch Dietrich Kuhlbrodt, Staatsanwalt bei der Verfolgung von NS-Verbrechen, in der *Jungle World* als problematisch eingestuft: »faktenreich, aber distanzlos«, und trotz »allerlei vorsichtigen Abwägens ist [...] der legitimatorische Eifer

48 Michael Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus. Die Arbeit der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm/Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*, Mammendorf: septem artes Verlag 1998, S. 3–4.

49 Ebd., S. 36–37, S. 131.

50 Hickethier, »Zur Tradition schulischer Beschäftigung« (1974), S. 36.

51 Von Keitz, »Die Kinematographie in der Schule« (2005), S. 464. Rust schreibt im Rund-erlass ausdrücklich, dass der Film »gerade bei den neuen Unterrichtsgegenständen der Rassen- und Volkskunde von vornherein mit eingesetzt werden« könne (Rust, »Unterrichtsfilm und amtliche Bildstellen« (26. 6. 1934), S. 21).

52 Vgl. Yasuo Imai, »Ding und Medium in der Filmpädagogik unter dem Nationalsozialismus«, in: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 16 (2013), S. 229–251; Verena Niethammer, »Indoktrination oder Innovation? Der Unterrichtsfilm als neues Lehrmedium im Nationalsozialismus«, in: *Journal of Educational Media, Memory, and Society* 8/1 (2016), S. 30–60; Petra Missomelius, *Bildung – Medien – Mensch. Mündigkeit im Digitalen*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2022, insb. S. 64–66.

des Autors unverkennbar«. ⁵³ Ewert wiederum, das sei in diesem Zusammenhang noch erwähnt, hat nach seiner Dissertation ein kriegsverherrlichendes und geschichtsklitterndes Porträt des Wehrmachtsoffiziers und späteren NPD-Vorsitzenden Wolf Ewert (der vermutlich sein Vater war) veröffentlicht respektive aus dessen Perspektive verfasst. ⁵⁴

Die Ideologie- und Bewertungsfragen betrafen lange Zeit die Filme der allgemeinbildenden Schule und nicht die wissenschaftlichen Filme im engeren Sinne. Selbst die Studien, die die volkskundlichen Filme unter ideologischen Gesichtspunkten in den Blick nahmen, untersuchten nicht die Hochschulfilme. ⁵⁵ Das ist insofern bemerkenswert, als die Hochschulabteilung einer der größten und reichweitenstärksten Filmverleihe für wissenschaftliche Filme war, den es vermutlich je gab.

Ab den 2000er Jahren gerieten auch die Filme der Hochschulabteilung in den Fokus der Forschung, die sich zunehmend auch wissenschaftshistorischen Fragen widmete. Der Historiker Ulf Schmidt hat in einer umfangreichen Studie die medizinischen Filme der Hochschulabteilung der RfU detailliert aufgearbeitet. Er kommt zu dem Schluss, dass die Filme dazu gedient hätten, »to train doctors in eugenics so that they in turn would be able to imply that Nazi policy had a scientific basis«. ⁵⁶ Auch die allgemeine Bewertung der Institution und deren Arbeit kritisierte Schmidt. Die Idee des Lehrfilms als wertneutrales Mittel für Schulen und Universitäten sei irreführend, die Erzählung der »politischen Oase« hochgradig problematisch. ⁵⁷ Ähnlich argumentiert Juliane Scholz in ihrer Aufarbeitung der Verstrickungen der RfU/RWU mit der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. ⁵⁸ Zu der

53 Dietrich Kuhlbrodt, »Prima Klima. Dauerfaszinosum Nazi-Moderne: Zwei frisch gebackene Medienpädagogen schwärmen für Altbackenes«, in: *jungle.world*, 20. 5. 1998.

54 Vgl. Malte Ewert, *Ein deutscher Offizier. Kriegserinnerungen 1940–1945 aus der Sicht des Bataillons-, Regiments- und Divisionskommandeurs Generalmajor Wolf Ewert*, ohne Ort im Selbstverlag: Education & Art Publ. 2012.

55 Vgl. Konrad Grunsky-Peper, *Deutsche Volkskunde im Film. Gesellschaftliche Leitbilder im Unterrichtsfilm des Dritten Reichs*, München: Minerva Publikation 1979. Mit Ausnahme von: Michael Böhl, *Entwicklung des ethnographischen Films: Die filmische Dokumentation als ethnographisches Forschungs- und universitäres Unterrichtsmittel in Europa*, Göttingen: Edition Herodot 1985; Werner Petermann, »Geschichte des ethnographischen Films. Ein Überblick«, in: Margarete Friedrich et al. (Hg.), *Die Fremden sehen. Ethnologie und Film*, München: Trickster 1984, S. 17–53.

56 Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 23.

57 Ebd., S. 22.

58 Juliane Scholz, »Whitewashing the Nazi Past: Continuity and Transformation in Scientific Cinematography in Germany 1934–56«, in: Mariana Ivanova, Dies. (Hg.), *Science on Screen and Paper: Media Cultures and Knowledge Production in Cold War Europe*, New York, Oxford: Berghahn 2024, S. 18–30.

kritischen Aufarbeitung der Institution haben auch wir beigetragen und möchten sie hier fortführen und vertiefen.⁵⁹ Indem wir einem technischen Film, wie Prandtls Film einer war, folgen, möchten wir aufzeigen, dass auch die ideologisch unauffälligen Filme – oder gerade diese – Ressourcen des militärisch-industriell-akademischen Komplexes im Nationalsozialismus waren und sich darin Regimeinteressen identifizieren lassen.

Die Hochschulabteilung der RfdU

Der Wirkungsbereich der RfdU blieb nicht lange auf die Klassenzimmer der allgemeinbildenden Schulen beschränkt, sondern weitete sich bald auf die Hörsäle in Hochschulen aus. 1935 wurden in einem Zusatzerlass die »grossen Möglichkeiten« betont, »die der Film gerade für Forschung und Lehre in den Hochschulen bietet«,⁶⁰ und die Abteilung Hochschulfilm wurde gegründet.

Um eine Hochschulabteilung überhaupt gründen zu können, musste die RfdU zunächst auf Produktionen zurückgreifen, die großteils aus der Zeit der Weimarer Republik stammten und nicht von der RfdU produziert worden waren. Erst die forcierte Übernahme des Bestandes der Deutschen Gesellschaft für wissenschaftliche Filme (DEGEWI) garantierte einen ausreichend großen Filmbestand bei der Gründung. Die DEGEWI wurde 1931 von dem jüdischen Unternehmer Max Liebermann gegründet und bestand aus Filmen des Verlags wissenschaftlicher Filme. Dieser Verlag wiederum hatte die Filme des medizinisch-kinematographischen Universitätsinstitut (MkUI) vertrieben, welches 1931 liquidiert wurde. Ulf Schmidt hat detailliert herausgearbeitet, wie die RfdU Kontrolle über den Filmbestand der DEGEWI und über den Bestand des Verlags wissenschaftlicher Filme zu gewinnen versuchte, um die neu zu gründende Abteilung für Hochschulfilme mit Material zu versorgen.⁶¹ Die RfdU profitierte nicht nur von der Enteignung jüdischen Besitzes (wie das Haus an der Kleiststraße 10–12 Berlin, in das die

59 Sarine Waltenspül, »Reusable and Nonreusable Films: From Ballistic Films to the Encyclopaedia Cinematographica«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 342–351, <https://doi.org/10.1086/714723>; Anja Sattelmacher, Mario Schulze, Sarine Waltenspül, »Introduction: Reusing Research Film and the Institute for Scientific Film«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 291–298, <https://doi.org/10.1086/714823>; Sarine Waltenspül, »Geschichtsvergessene Digitalisierung. Nationalsozialistische Provenienzen wissenschaftlich-technischer Filme aus der Sammlung des IWF«, in: *Technikgeschichte* 91/2 (2024), S. 139–174.

60 Rust, Runderlass (6. 2. 1935).

61 Vgl. Schmidt, *Medical Films* (2002), zur DEGEWI-Übernahme insb. 88–95; siehe auch Scholz, »Whitewashing the Nazi Past« (2024).

RfdU einzog), sondern spielte eine aktive Rolle darin. Ferner geht Schmidt so weit zu schreiben: »The key people involved in the creation of the University Department can be seen to have been motivated by nationalism and antisemitism.«⁶² Eine dieser treibenden Kräfte in der Übernahme des Bestandes war der bereits genannte Kurt Gauger. In einem inoffiziellen Brief, der die Übernahme der Filme zum Thema hat, schrieb Gauger an den NS-Pädagogen Alfred Pudelko:

Ich schreibe diesen Brief an Sie als Nationalsozialist aus eigener Initiative und unter eigener Verantwortung, weil ich keinen anderen Weg sehe, das wertvolle mit staatlichen Mitteln hergestellte Filmmaterial für den Staat zu retten als den, Herrn Lans zu zwingen, seine Anteile an der Deutschen Gesellschaft für wissenschaftliche Filme zu höchstens dem Preis an die Reichsstelle für den Unterrichtsfilm zu verkaufen, den er selber dem Juden Liebermann bezahlt hat.⁶³

Ferner fordert Gauger das Eingreifen einer Stelle »die nach dem Wort des Führers elastischer arbeiten kann als der notwendig schwerfälligerer Apparat der offiziellen Justiz«.⁶⁴ Damit meinte er die Gestapo. Die Übernahme des DEGEWI-Bestandes gelang dann aufgrund der juristischen Hürden erst durch das Eingreifen der Gestapo und hochrangiger NS-Beamter.⁶⁵

Um weitere Filme in den Verleihkatalog aufnehmen zu können, begann die RfdU zudem ab 1935, ein Jahr vor Gründung der Hochschulabteilung, unter Mithilfe von nicht weiter spezifizierten »wissenschaftlichen Fachvertretern« Filme aus dem Besitz von Hochschulen oder Hochschulinstituten zu prüfen. Zunächst wurden 138 Filme aus den Fachbereichen »Ethnografie, Leibesübungen und Orthopädie« auf ihre Eignung in der Hochschullehre geprüft,⁶⁶ einen Monat später waren es bereits 243 Filme aus den zuvor genannten Fachbereichen plus der Physiologie und der Zoologie, kurz darauf kamen Filme aus der Chirurgie und Technik dazu.⁶⁷ 1936 wurden dann die offiziellen Filmreferenten bekannt gegeben, die eine Schnittstelle zwischen

62 Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 88.

63 Gauger an Alfred Pudelko, 19. 9. 1935, BAArch R/169/15.

64 Ebd.

65 Zum MkUI und VwF: Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 46–48.

66 Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 1 (Nov. 1935), S. 156–157, hier S. 156.

67 Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild* 1 (Dez. 1935), S. 176–178, hier S. 177.

den Hochschulen und der RfDU bilden sollten.⁶⁸ Diesen kam die Aufgabe zu, einen Bericht abzugeben, »welche Filme in technischer und wissenschaftlicher Hinsicht den Anforderungen noch heute genügen, zur allgemeinen Verwendung im Hochschulunterricht geeignet erscheinen«.⁶⁹ Aus diesen Filmen – und interessanterweise nicht aus den DEGEWI-Filmen – wählte die RfDU dann fünf Filme aus, die ab Januar 1936 aus dem Katalog der Abteilung Hochschulfilm bestellt werden konnten. An erster Stelle stand Prandtls Film als C 1 mit dem Titel *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen, 1. Entstehung von Wirbeln und künstliche Beeinflussung der Wirbelbildung*, gefolgt von C 2 mit dem Untertitel *2. Anwendungen auf die Strömung durch Krümmer, Hohlräume und Verzweigungsstücke*.⁷⁰

Die RfDU hat ihren Hochschulkatalog zu Anfangszeiten weitgehend auf wiederverwendete Filme oder Filmsammlungen aufgebaut – eine Strategie, die durch die Medienspezifika von Film möglich wurde: Zelluloid ließ sich umschneiden, Vorspanne ließen sich ersetzen. Die RfDU eignete sich bereits existierende Filme an und wertete diese um, indem sie sie in einen neuen Kontext stellte, um sie entsprechend ihrer politischen Ziele der Gleichschaltung zu nutzen. Die Strömungsaufnahmen wurden zu Gründungsdokumenten einer nationalsozialistischen Vorzeigeeinrichtung. Bereits dies belegt, dass sie eine wichtige Ressource der »medialen Mobilmachung«⁷¹ des NS-Staates waren – und zwar unabhängig davon, ob mit ihnen konkrete ideologische Inhalte transportiert wurden. Wollen wir allerdings die spezifische Verquickung von Wissenschaft und Politik durch wissenschaftliche Filme im NS-Staat besser verstehen, und wollen wir verstehen, wie Wissen in bewegten Bildern politisch wirksam wurde, gilt es die konkrete Geschichte nachzuvollziehen, wie die Laboraufnahmen zu einem NS-Hochschullehrfilm werden konnten und welchen Anteil einerseits Prandtl und andererseits die RfDU daran hatte.

Modellfilm im Nationalsozialismus

Bei ihrer ersten öffentlichen Vorführung 1927 in London waren die Göttinger Strömungsaufnahmen nur eine Aneinanderreihung von einzelnen Filmsequenzen ohne Zwischentitel und ohne klare Dramaturgie. Die

68 Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild* 1 (Jan. 1936), S. 22–27.

69 Anonym, »Arbeitsbericht« (Nov. 1935), S. 156.

70 Anonym, »Arbeitsbericht« (Jan. 1936), S. 24.

71 Vgl. Harro Segeberg (Hg.), *Mediale Mobilmachung I. Das Dritte Reich und der Film, Mediengeschichte des Films*, Bd. 4, München: Wilhelm Fink Verlag 2004.

Wissenschaftshistorikerin Janina Wellmann hält bezüglich wissenschaftlicher Filme fest: »The exposure of the film strip is one thing, while the organization of the material is another.«⁷² Die Organisation des Materials besteht insbesondere in der Strukturierung und Narrativierung desselben. Beim Strömungsfilm brauchte es zahlreiche Schritte hin zu einem narrativierten Film mit passenden Zwischentiteln inklusive schematischer Zeichnungen, pointierten Schnitten, Wiederholungen einzelner Sequenzen sowie einem entsprechenden Vor- und Abspann.

Die verschiedenen uns zur Verfügung stehenden Archivkopien des Films geben über die Schritte hin zur narrativierten Version Aufschluss, auch wenn diese Versionen meist nicht eindeutig zu datieren sind und wir daher nicht exakt rekonstruieren können, wann genau Prandtl welche Änderungen vorgenommen hat. Auf jeden Fall ließ er nach der Vorführung in London deutsche und englische Zwischentitel erstellen, in denen die gezeigten Strömungen kurz in Worten beschrieben wurden und mittels Zeichnungen der Blick auf die theoretisch interessanten Phänomene gelenkt wurde. Auch stellte er zu dramaturgischen Zwecken immer wieder Szenen um. Bemerkenswert ist jedenfalls, dass der weitaus größere Teil dieses Überarbeitungsprozesses – wie im dritten Kapitel beschrieben – bereits lange vor der Übernahme des Films durch die Rfdu geschah. Und auch die Möglichkeit, dass der Film für sich stehen könnte und nicht notwendigerweise der Kommentierung durch seinen Urheber bedurfte, deutete sich bereits vor dem Kontakt mit der Rfdu an. Nach seiner Weltreise war Prandtl von seinem Film dermaßen überzeugt, dass er auf die Anfrage des Organisators des 3. Internationalen Kongresses für technische Mechanik in Stockholm 1930, ob er trotz verstrichener Frist nicht doch noch ein Manuskript einreichen wolle, antwortete, er könne einen hydrodynamischen Film vorführen:

Der erste Teil des ganzen Films stammt allerdings schon aus dem Jahr 1927, ist also dem Einen oder Anderen der Teilnehmer schon bekannt. Ich habe allerdings auch festgestellt, daß Jeder [sic] den Film auch gerne zweimal sieht. Der zweite Teil ist, wie gesagt, neu. Ein Vortragsmanuskript würde ich allerdings im Augenblick nicht in der Lage sein, einzusenden. Ich halte das in diesem Fall aber auch nicht für schädlich, da der Vortragstext ohne den Film doch seinen Zweck nicht erfüllen würde.⁷³

72 Janina Wellmann, »Science and Cinema«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 311–328, hier S. 313–314.

73 Prandtl an Wejbull, 14. 4. 1930, AMPG III/61/2138. Die Beschreibung zum Film, die er später sendet, stimmt mit Film VII/1/F 149 in der AMPG überein, vermutlich hat er diese Version gezeigt.

Nur wenige Tage nach diesem Briefwechsel reagierte Prandtl auf eine ähnliche Bitte um einen Beitrag zum fünften internationalen Luftfahrtkongress 1930 in Den Haag mit dem Vorschlag, seinen »Film über Bildung von Wirbeln laufen zu lassen« – diesmal ganz ohne seine Anwesenheit.⁷⁴ Doch der Film ersetzte nicht nur die Vorträge bei Kongressen, sondern ebenso deren Verschriftlichung in den Kongressberichten. Eine Woche nach dem Kongress in Stockholm sandte Prandtl zur Publikation einen Text ein, der ausschließlich aus einer Beschreibung des Films bestand. Er fügt die Bemerkung an: »Da man den Film doch nicht wiedergeben kann, scheint mir eine solche kurze Angabe im Kongreßbericht ausreichend zu sein.«⁷⁵

Die Aufnahmen von Vorgängen im Wasserkanal wurden also nach und nach von einem Teil in Prandtls Choreografie der Evidenz zu einer wissenschaftlichen Publikation eigenen Rechts. Mit den Überarbeitungen für die RfdU wurden sie schließlich zu einem Lehrfilm. Nötig dafür war eine schrittweise Vereindeutigung und Didaktisierung durch Prandtl, bei der es ihm darum gegangen zu sein scheint, die Experimente zum Magnuseffekt, zum Tragflügel oder zur Absaugung, zu einer Erzählung über die Fassbarkeit und Kontrollierbarkeit der Strömung zusammenzufassen. Mehr noch als in anderen Phasen seiner Geschichte war der Film in der Zeit zwischen seiner Erstaufführung und der Aufbereitung für die RfdU ein instabiles Objekt, das zwischen Singulärem und Multiplem, zwischen Einheit und Vielheit schwankte, bevor er dann zu dem kohärenten Objekt werden sollte, das als C 1 Bestand bis in unsere Gegenwart haben wird. John Law hat bezüglich der Dezentrierung von Objekten in den Technowissenschaften festgehalten: Es seien die verschiedenen Versionen eines Objekts – in seinem Fall der TSR2 Überschallflieger –, die miteinander in Verbindung stehen, und die, zusammengemischt aus ihrer Multiplizität, erst eine Singularität respektive ein singuläres Objekt ergeben: »In short, they [the various versions] make objects that cohere.«⁷⁶ In diesem Sinne beruht auch die Kohärenz von C 1 auf der Vielzahl der Versionen, die die Strömungsaufnahmen im Vorfeld angenommen hatten.

Obwohl Prandtls Film bereits vor Eintritt in die RfdU eine wohldurchdachte Szenenabfolge hatte und dazu Zwischentitel besaß, die sich kaum von denen in C 1 unterscheiden, kann nicht davon die Rede sein, dass der Film durch die RfdU einfach übernommen und veröffentlicht wurde. Vielmehr

74 Korrespondenz Prandtl mit Emile B. Wolff, AMPG III/61/1372 und I/44/1338.

75 Prandtl an das Bureau des 3. Internationalen Kongress, 6. 9. 1930, AMPG III/61/2138. Das Manuskript, das Prandtl einschickt, findet sich in den Kongressbänden nicht abgedruckt.

76 John Law, *Aircraft Stories. Decentering the Object in Technoscience*, Durham, NC, London: Duke University Press 2002, S. 2–3.

eine direkt oder indirekt für die RfDU tätige Person Prandtls Film von einem der Kongresse, auf denen er gezeigt wurde?⁷⁸ Karl von Frisch berichtete zur Übernahme seiner Filme durch die RfDU: »Die Hochschullehrer hatten ihre selbst gemachten Filme zum allgemeinen Besten dort abzuliefern – gewiss eine gute Einführung, bei der nur die Selbstverständlichkeit, mit der man sein rechtmäßiges Eigentum verlor, etwas befremdend wirkte.«⁷⁹

Jedenfalls wurden noch am Tag seines Eingangs in die RfDU eine L-Kopie und S-Negative bestellt. L-Kopien sind Zwischenpositive, sogenannte Lavendelkopien, die vom 35mm-Ausgangsmaterial gezogen werden. Die Lavendelkopien dienen wiederum als Ausgangsmaterial für die im optischen Verkleinerungsverfahren erstellten 16mm-Kopiernegative (Duplikat- oder Dup-Negative). Vermutlich handelt es sich bei den S-Negativen um S[schmallfilm]-Dup-Negative (Abb. 4.5).⁸⁰

Die RfDU bestätigte am 15. Oktober 1935 den Erhalt der Negative der »strömungstechnischen Aufnahmen« und schickte Prandtl eine abspielbare »Arbeitskopie« davon zurück, bei der einige Mängel beseitigt wurden, die durch die »unsachgemässe[] Lagerung oder Behandlung« entstanden seien. Im Schreiben des Abteilungsleiters der neugegründeten Abteilung Hochschulfilm der RfDU, Dr. Eugen Schwarz – in dem Fall vertreten durch Dr. Dautert –, heißt es zudem, dass für den »wertvollen Strömungsfilm« bereits Anfragen zur Kopienlieferung vorliegen, ohne diese zu konkretisieren. Die RfDU hätte jedoch nicht vor, den Film in der von Prandtl eingereichten Fassung zu verschicken. Dautert bat Prandtl darum, die »wahllose[] Folge [der] einzelnen Negativabschnitte« in eine »sinngemässe Fassung zu schneiden und zu kleben«, um »den Anforderungen des Hochschulunterrichts gerecht zu werden«. Dazu gehörte auch der Hinweis, dass die »Erklärung, die sonst Titel meist übernehmen, [...] ja dem Hochschullehrer

78 Für die wahrscheinlichste Version vgl. Eugen Schwarz: »Nur durch zufällige Vorweisungen auf Kongressen, durch Kollegenbesuch erfuhren die einzelnen Dozenten von der Existenz einzelner Filme [...]« (Eugen Schwarz, »Der wissenschaftliche Film in Forschung und Unterricht«, in: *Film und Bild* 2 (Feb. 1936), S. 29–34, hier S. 31.) Hermann Rein war es eher nicht, da in der Bestandsaufnahme vom Juni 1935, in der Rein bereits als »Verbindungsmann« – später Filmreferent – angegeben ist, kein Film aus Prandtls Institut auftaucht, wohl aber einige andere aus Instituten der Universität Göttingen (*Film und Bild* 1 (Jun. 1935), S. 54–59). Auf die Eigeninitiative Prandtls deutet noch hin, dass die RfDU bereits 1935 an Prandtl schreibt: »Wir glauben die Kenntnis des Aufgabenbereichs der Abteilung Hochschulfilm der Reichsstelle voraussetzen zu dürfen [...]« (vgl. Dautert/Schwarz an AVA/Prandtl, 15. 10. 1935, AMPG I/44/1305).

79 Karl von Frisch, *Erinnerungen eines Biologen*, Berlin, u. a.: Springer ³1973 [1957], S. 83.

80 Vgl. Meyer, »Die Stahlindustrie« (2004), S. 45; Curt Fladrich, »Die technische Herstellung des Unterrichtsfilms 2. Teil«, in: *Film und Bild* 1 (Aug. 1935), S. 88–92.

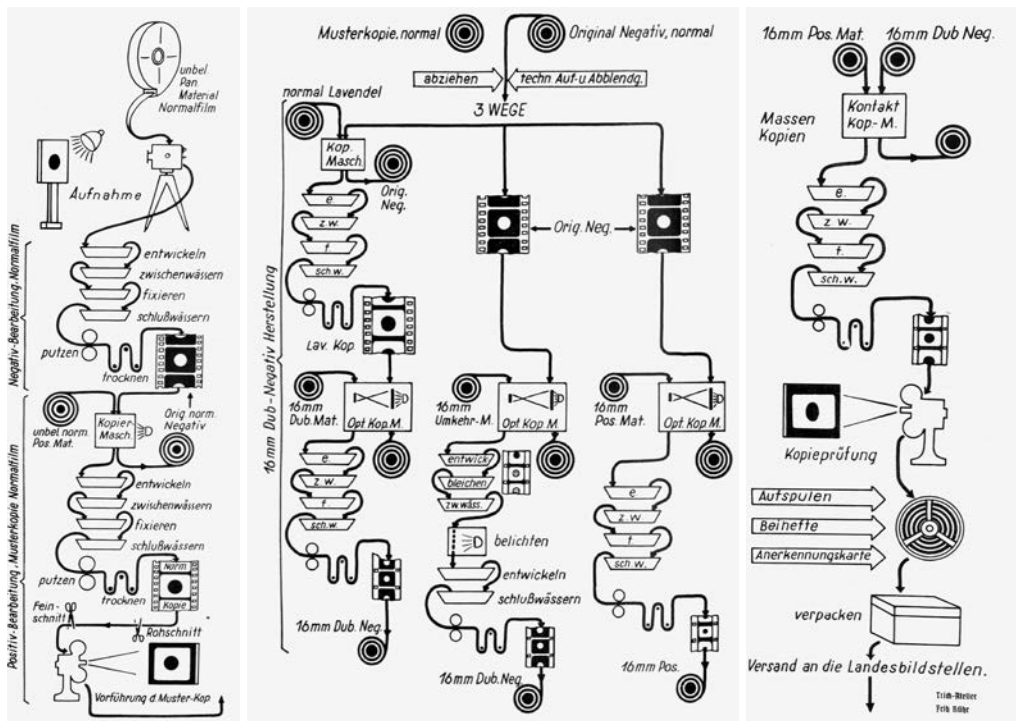


Abb. 4.5: Die Darstellung der RfdU zeigt die vielfältigen Umkopierprozesse, die das Filmmaterial bis zur Auslieferung durchlaufen mussten.

überlassen bleiben [soll].« Auf Ton, der sich im Spielfilm seit Ende der 1920er Jahre mehr und mehr durchsetzte, verzichtete man daher in den RfdU-Lehrfilmen. Zum Schluss des Briefes wurde Prandtl zudem auf das »gemeinsame[] Ziel,« hingewiesen, »der deutschen Forschung und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuch[s]es [zu] dienen.«⁸¹ Prandtl antwortete darauf, dass die Reihenfolge der Szenen bereits in der Weise vorliegt, wie es in der »letzten Ausgabe des Strömungsfilms geschehen ist.« Anstelle der von der RfdU geforderten neuen, »sinngemässen Fassung« lieferte er ein Skript zum Film und gab Empfehlungen, wie dieser aus seiner Sicht umzugestalten sei. Zu den Titeln schreibt er, dass es mit Text alleine nicht getan sei, sondern die Betrachtenden mit Skizzen auf den Vorgang vorbereitet werden müssen – wie bereits in den von ihm erstellten Filmversionen für Vorträge (Abb. 4.6 und 4.7).

81 Alle Zitate aus: Dautert/Schwarz an AVA/Prandtl, 15. 10. 1935, AMPG I/44/1305.

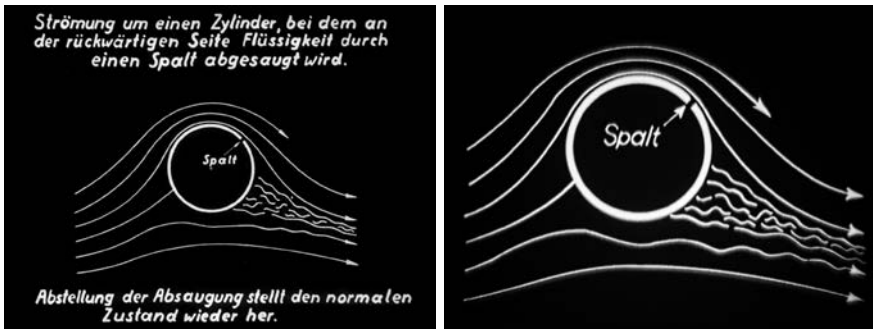


Abb. 4.6 und 4.7: Ein Vergleich der Schemaskizzen – links aus einer Filmversion von ca. 1930–32 und rechts aus einer Version von C 1 von vor 1945 – verdeutlicht, dass die RfDU weitgehend Prandtls Filmdidaktik folgte und nur wenige Änderungen vornahm. So wurden bspw. Grafik und Text in C 1 getrennt und nacheinander statt gleichzeitig gezeigt.

Allem Anschein nach wollte Prandtl keineswegs den Hochschullehrern alleine die Erklärungen überlassen. Ihm ging es darum, dass der Film eine Erfassung zentraler Strömungsphänomene ermöglichte und dass die Betrachtenden dabei *seine* Begriffe und Ansätze – von der Grenzschicht bis hin zur Absaugung – in den Aufnahmen sahen. Außerdem sollten die Sequenzen wiederholt werden, so wie bereits in den von ihm erstellten Filmversionen, und der Film sei in zwei Teilen auszuliefern, wobei es »im Belieben des Bestellers« liege, sich auf »die beiden Teile als zusammenhängenden Film oder gesondert zu beziehen«. ⁸² Bereitwillig ging die RfDU auf Prandtls Empfehlungen ein, bat um Rücksendung der Arbeitskopie und um die versprochenen Titelvorlagen, um »zwei Schmalfilme zur allgemeinen Verwendung im Hochschulunterricht zusammenzustellen«. Die RfDU ging sogar noch weiter:

Die von Ihnen gewählte Form des Titel[s] halten wir vom Standpunkt der Unterrichtsmethodik für ausserordentlich wertvoll und werden sie voraussichtlich in der von uns herauszubringenden Fassung verwerten. Aus denselben Erwägungen heraus werden wir Ihrem Vorschlag der Szenenwiederholung bei der Zusammenstellung des Filmes entsprechen. ⁸³

Wir müssen uns hier vergegenwärtigen, dass die Filmsammlung der Abteilung Hochschulfilm in diesem Moment noch nicht existierte, und dass die

⁸² Prandtl an RfDU, 30. 10. 1935, AMPG I/44/1305.

⁸³ RfDU an Prandtl, 2. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

formalen Vorgaben, die die RfDU Prandtl machte, keine Vorläufer hatten, geschweige denn eine Standardisierung erfahren hätten. Wie ein Film für den Hochschulunterricht aussehen sollte, was es im Spezifischen bedeutete, Aufnahmen aus dem Labor didaktisch für ein vorgebildetes Publikum aufzubereiten, das an Lehrbücher gewöhnt war und selbst noch wenig Erfahrung mit größeren Experimentalsettings gemacht hat, war für die RfDU zu diesem Zeitpunkt noch offen. 1935 existierte keine spezifisch nationalsozialistische Didaktik für den Hochschulunterrichtsfilm, die sich auf die Strömungsaufnahmen hätte anwenden lassen. Demnach war es also nicht so, dass die RfDU aus Prandtls Aufnahmen einen Lehrfilm nach ihren didaktischen Vorstellungen machte, sondern vielmehr wurde Prandtls Film umgekehrt zu einem Vorbild für die Hochschuldidaktik der RfDU.

Diese Vorbildfunktion scheint sich etwa im wenig später erschienenen Text »Der wissenschaftliche Film in Forschung und Unterricht« des Abteilungsleiters Schwarz, der die Etablierung von Film als wissenschaftliche Publikation zum Thema hat, niedergeschlagen zu haben. Die einzigen zwei Punkte, die Schwarz als »äußerliche Norm« bei der Gestaltung der Filme für den Hochschulunterricht nennt, sind die Länge der Filme (nur so lange, wie es die Erfassung des Vorgangs erfordert, also 1–45 min) und die sparsame Betitelung gleich den Überschriften in wissenschaftlichen (Text-)Publikationen. Alle restlichen Entscheidungen seien aus »unterrichtsmethodischen oder wissenschaftlich-sachlichen Erwägungen heraus von Fall zu Fall« zu treffen. Der Strömungsfilm wird von Schwarz als »eines der Standardbeispiele« dafür genannt, »wie ein allein zu Forschungszwecken aufgenommener Filmstreifen zu unterrichtlicher Bedeutung gelangt und in eine unterrichtliche Fassung gebracht wird.«⁸⁴ Was Schwarz dabei verschweigt, ist nicht nur der Name Prandtls, sondern auch die Tatsache, dass die Überarbeitung und damit die modellhafte Vorlage für den Hochschulunterrichtsfilm von Prandtl ausgegangen ist.

Später entwickelten sich in der RfDU die pädagogischen Leitlinien für den Unterrichtsfilm weiter, auch wenn sie nicht spezifisch die Hochschulunterrichtsfilme betrafen. So spricht Michael Kühn in seiner Analyse der Filmpädagogiken Kurt Zierolds und Christian Caselmanns, zunächst Pädagogischer Leiter, dann Vizepräsident der RWU,⁸⁵ vom »Single Concept Film«, der sich durch einheitliche Kameraeinstellungen, Kontinuität der Bildführung, klare Titelgestaltung, enge thematische Behandlung und enge inhaltliche

84 Schwarz: »Der wissenschaftliche Film« (Feb. 1936), S. 32–33.

85 Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 53.

Begrenzung auszeichnet.⁸⁶ Prandtls Strömungsfilm passt erstaunlich gut zu diesen filmpädagogischen Leitlinien und scheint auch insofern ein Vorbild für den RfdU-Hochschulunterrichtsfilm gewesen zu sein. Der Film war eine zentrale Ressource für die NS-Institution – eine Ressource, die keineswegs so passiv war, wie der Begriff suggerieren mag.

An den Filmpädagogiken der RfdU lässt sich mithin auch eine Verbindung zu den emotionalisierenden Prinzipien der Propaganda ausmachen. Zum Beispiel, wenn Caselmann bezüglich der Unterrichtsfilme schreibt, dass die aus ihnen resultierende begriffliche Erkenntnis »nicht nur im Hirn« wohnen könne, sondern »den ganzen Menschen erfassen« und »zum Erlebnis werden« müsse. Deswegen – und da sich Filme stärker als andere Medien in das Gedächtnis einprägen würden –, sei ebenso auf eine künstlerische Gestaltung zu achten, worunter er konkret eine unter künstlerischen Gesichtspunkten komponierte Bildgestaltung und Kameraführung, sowie einen ebensolchen Schnitt verstand.⁸⁷ Ob Prandtls Film auch für diese Ideen vorbildgebend war, können wir nicht beurteilen. Jedenfalls haben die formalen Gestaltungsmittel des Strömungsfilms sowohl Wissenschaftler·innen als auch Künstler·innen immer wieder in den Bann gezogen und so mittels Gestaltung die Erkenntnis zum Erlebnis werden lassen.

Zurück in die Zeit vor der Veröffentlichung der Filme: Es wäre nun zu erwarten gewesen, dass der vielbeschäftigte Direktor eines Kaiser-Wilhelm-Instituts mit den Überarbeitungen des Films hätte zufrieden sein müssen und dass er das Filmmaterial zurückschicken, die Schmalfilmkopien abwarten und gegebenenfalls absegnen würde. Doch Prandtl reagierte verzögert und begründete dies wie folgt:

In der Tat hat sich gezeigt, daß an dem Film, der seinerzeit nicht von mir selbst[,] sondern von meinen Mitarbeitern zusammengestellt ist [sic], noch Einiges verbessert werden kann. Ich teile diese Verbesserungen auf einem besonders beigefügten Blatt mit.⁸⁸

Er zeigte sich besorgt darüber, dass die Titellängen nur richtig seien, wenn der Film mit 14 oder 16 Bildern pro Sekunde abgespielt werde, nicht aber mit 24; ferner sei es wünschenswert, Duplikatnegative einzufügen (also die

86 Ebd., S. 104. Der Begriff des Single Concept Films wurde in den 1960 Jahren in Bezug auf die von Technicolor entwickelten 8mm-Kassetten eingeführt, um die es im sechsten Kapitel gehen wird, vgl. L. B. Happé, »The Silent Educational Single-Concept Film«, in: *Journal of the University Film Producers Association* 17/2 (1965), S. 3–7.

87 Caselmann zitiert nach Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 86–87.

88 Prandtl an RfdU, 9. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

Einzelbilder zu verdoppeln, um die Vorgänge zu verlangsamen); oder auch kurze Szenen gar drei Mal zu zeigen und andere, »ermüdend« wirkende Wiederholungen zu streichen.⁸⁹

Kurzum, die Länge, Intensität und Frequenz der Briefe zeigen, wie sehr Prandtl sich auch Jahre nach der Erstaufführung noch für seinen Film einsetzte. Die filmischen Gestaltungsmittel wollte er nicht einfach der RfdU überlassen. Auf Basis seiner Erfahrungen in der Vorführung des Films dachte er diesen in einen Unterrichtsfilm um. Sogar Manipulationen der Bildwechselfrequenz mittels Duplikatnegativen hielt er für nötig – entgegen etwaiger Objektivitätsideale eines Nicht-Eingreifens. Prandtl wollte nichts dem Zufall überlassen. Die Briefe verdeutlichen daher über Prandtls konkrete Vorschläge zur Didaktisierung hinaus vor allem eines: seine Unruhe und Sorge bezüglich des Films. So wollte er, bevor die 16mm-Verleihkopien verschickt wurden, den »nicht ganz normalen Film« nochmals sehen.⁹⁰ Und kaum eine Woche später betonte er in einem weiteren Brief, dass er überprüfen möchte, »ob wirklich alles klappt.«⁹¹ Prandtls Eifer bei der Überarbeitung muss wohl als Versuch gelesen werden, die Kontrolle über den Film selbst dann zu behalten, als er den Film abgeben musste und nicht mehr als Showman die Blicke der Betrachtenden leiten konnte. So sehr er mit dem Film einst verwachsen war, so sehr Mühe bereitete ihm anscheinend die Vorstellung, dass dieser ohne ihn gezeigt werden sollte. Mit der Gestaltung des Films versuchte Prandtl, sich abschließend in den Film einzuschreiben, bevor er ihn der Fremdkontrolle einer großen Institution übergab.

Im Januar folgten dann die Schmalfilmkopien und mit ihnen die Bitte der RfdU um baldmögliche Antwort, »ob wir diese Fassung als die endgültige betrachten können«. Denn: »Die Filme haben nunmehr die Fassung, in der wir sie Ihren Wünschen gemäss den deutschen Hochschulinstituten zur Verfügung stellen möchten.«⁹² Doch Prandtl bittet um Rücksendung der Negative⁹³ und die Überarbeitungen gingen weiter. In einem sechsseitigen Brief beanstandete er zahlreiche Mängel: Titel zu lang, schiefe Skizzen, ungleiche Belichtung, u. s. w. und er gab an, wie die Version konkret umzuarbeiten sei.⁹⁴ Selbst danach hatte er weitere Beanstandungen und ging sogar so weit, zusätzliches 35mm-Filmmaterial mitzuschicken, das die RfdU einzufügen

89 Prandtl an RfdU, 9. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

90 Prandtl an RfdU, 10. 12. 1935, AMPG I/44/1305.

91 Prandtl an RfdU, 19. 12. 1935, AMPG I/44/1305.

92 RfdU/Gauger an Prandtl, 8. 1. 1936, AMPG I/44/1306.

93 Prandtl an RfdU, 9. 1. 1936, AMPG I/44/1306.

94 Prandtl an RfdU, 22. 1. 1936, AMPG I/44/1306.

hätte. All diese Änderungen verzögerten die Publikation des Films,⁹⁵ obwohl dieser indessen bereits in *Film und Bild* als bestellbar angekündigt war. Die von C 1 und C 2 veröffentlichten Fassungen zeigen jedenfalls, dass auch auf diese letzten Wünsche Prandtls noch eingegangen wurde.

Eine Fassung, bei der dann allerdings die RfdU noch Beanstandungen an das Kopierwerk geltend machte, wurde schließlich nach Jena zur Vorführung geschickt. Wir wissen nichts Genaueres über diese Vorführung, warum sie in Jena und wo genau sie dort stattfand und auch nicht, ob Prandtl im Rahmen der Vorführung ebenso einen Vortrag gehalten hat. Aber wir wissen, dass er zugegen war und mindestens im Publikum saß. Nach der Vorführung schrieb er der RfdU, dass der Film »viel Beifall« erhalten habe. Doch statt sich über diese positiven Reaktionen zu freuen, berichtet er von weiteren Mängeln des Films. Interessanterweise versuchte Prandtl dabei, sich in die Wahrnehmung des Publikums zu versetzen: Zu früh und ohne Blankfilm würden die Szenen »überfallsartig« aneinander anschließen, so dass »der Beschauer [] nun eine ›Schrecksekunde‹ [verliert] bis er sich bewußt wird, was eigentlich los ist.« Entsprechend schlug er vor, dass »die eine Szene abgeschaltet und durch eine ruhende Fläche ersetzt wird«, damit »der Aufmerksamkeit nichts verloren« gehe.⁹⁶ Daraufhin wurden die Filme erneut überarbeitet,⁹⁷ woraufhin wiederum Szenenübergänge und Titel beanstandet wurden,⁹⁸ und erneut wurden die Filme überarbeitet und neue S-Kopien gezogen.⁹⁹ Im März 1936, zwei Monate nach der offiziellen Veröffentlichung durch die RfdU, fanden die Überarbeitungen endlich ein Ende. Damit waren die Versionen erstellt, die dann die nächsten 70 Jahre auch durch die RfdU-Nachfolgeinstitutionen vertrieben werden würden – mit geändertem Vorspann versteht sich.

Die Kostenberechnung bestätigt, was die umfangreiche Korrespondenz bereits vermuten lässt: Der Film kam die RfdU teuer zu stehen. Anstelle der geschätzten Kosten von 862.03 Reichsmark kosteten die Filme 1504.21 RM. Damit wurde die Kalkulation erheblich überschritten, was auf die vielen Abzüge während des Überarbeitungsprozesses zurückzuführen ist. Kein anderer Film aus den ersten 80 Hochschulunterrichtsfilmen, die nicht durch die RfdU neuproduziert wurden, hatte derart hohe Herstellungskosten zu verzeichnen.¹⁰⁰

95 RfdU/von Werner/Gauger an Prandtl, 5. 2. 1936, AMPG I/44/1306.

96 Prandtl an RfdU, 10. 2. 1936, AMPG I/44/1306.

97 RfdU/von Werner/Gauger an Prandtl, 17. 2. 1936, AMPG I/44/1306.

98 Prandtl an RfdU, 29. 2. 1936, AMPG I/44/1306.

99 RfdU/von Werner/Gauger an Prandtl, 5. 3. 1936, AMPG I/44/1306.

100 Vgl. Kostenberechnung, TIB IWF 12820. Das Bearbeiter-Honorar betrug 30 RM, die Begleittexte 25 RM. Zum Kostenvergleich siehe Tolle, *Reichsanstalt* (1961), S. 124–126.

1939 fand dann die letzte uns bekannte Korrespondenz zwischen Prandtl und der RfdU statt, in der Prandtl schreibt:

Bei dieser Gelegenheit möchte ich Ihnen mitteilen, daß ich mich immer noch mit dem Gedanken trage, von dem Strömungsfilm eine verbesserte Neuauflage herzustellen, da mich die alte Fassung in verschiedener Hinsicht nicht ganz befriedigt. Solange der Krieg dauert, wird es allerdings nichts damit werden.¹⁰¹

Die Hochschulunterrichtsfassung seiner Aufnahmen ließ Prandtl unbefriedigt zurück. Das lag nicht daran, dass er Skrupel gehabt hätte, sich an der nationalsozialistischen Umgestaltung des Hochschulwesens zu beteiligen. Wie wir sehen werden, interessierte ihn die konkrete Verwendung des Films durch die RfdU nicht besonders. Vielmehr ahnte er vermutlich, dass dieser Film bleiben und ein wichtiger Teil seines Vermächtnisses werden würde.

Film als standardisierte Handelsware

Auch wenn der Film selbst trotz der zahlreichen Überarbeitungsschritte letztlich nur in Details modifiziert wurde, so änderte sich durch die staatsnahe Institutionalisierung doch viel für ihn. Der RfdU-Karteikarte, die als Grundlage für die Bestellungen diente, ist zu entnehmen, welchen Funktionswandel der Film vollzogen hatte: »Hergestellt für: Hochschulunterricht (Ursprünglicher Verwendungszweck: Forschungsfilm).« (Abb. 4.8) Der Filmwissenschaftler Scott Curtis unterscheidet zwischen *research film* – gemacht für den distanzierten »expert gaze of a scientific observer« – und *educational film* – für »an untrained eye«. Das Wissen der jeweiligen Filmgattung bestimmt er über die unterschiedliche Relation zwischen *spectator* und *screen*, wobei er bemerkenswerterweise die Metapher des Fließens wählt: »In the research film, the knowledge of the scientist *flows* toward the image, thereby framing the phenomenon depicted. In the educational film, the knowledge represented on screen *flows* toward the spectator.«¹⁰² Im Fall der RfdU sollte das Wissen des Films mittels der vielen Kopien die trainierten wie untrainierten Augen des Reichs regelrecht fluten. Denn konkret bedeutete die Aufnahme in den

¹⁰¹ Prandtl an RfdU/Schwarz, 9. 12. 39, AMPG I/44/1306.

¹⁰² Scott Curtis, »Images of Efficiency. The Films of Frank B. Gilbreth«, in: Vinzenz Hediger, Patrick Vonderau (Hg.), *Films that Work. Industrial Film and the Productivity of Media*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2009, S. 85–99, hier S. 91. Hervorhebung durch die Autor-innen.

Hochschulfilm-Nr. C1	Technik Strömungslehre, Hydro- und Aerodynamik								
<u>16 mm</u> Stumm Sicherheitsfilm Länge: 133 m	Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen I. Entstehung von Wirbeln und künstliche Beeinflussung der Wirbelbildung <u>Lizenzinhaber und Umfang der Lizenz:</u> Reichsstelle für den Unterrichtsfilm, für Inland und Ausland <u>Filmhersteller:</u> Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, Göttingen (Dir.: Prof. Dr. Prandtl) <u>Herstellungsjahr:</u> 1927—1933 <u>Wissenschaftliche Leitung:</u> Prof. Dr. Prandtl, Göttingen <u>Mitarbeiter:</u> Dr. Tietjens, Ing. W. Müller <u>Beiheft:</u> Veröffentlichung der Reichsstelle: Prof. Dr. Prandtl, „Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen“ <u>Verleih und Verkauf:</u> Reichsstelle für den Unterrichtsfilm, Berlin								
<u>35 mm</u> Stumm Länge: 333 m Aufnahmefrequenz: 20 Spulenzahl: 1 Laufzeit: 18 Min.									
<u>Inhalt:</u> Aufnahmen von der Entstehung von Wirbeln mittels der Beobachtungsmethode nach Ahlborn. Wirbelbildung um ruhende, fahrende und rotierende Zylinder und um unter- und überkritische elliptische Zylinder. Anfahrwirbel von Tragflügeln. Strömung in erweitertem Kanal und ihre Beeinflussung durch einseitige und beiderseitige Absaugung. Beeinflussung der Strömung um einen Zylinder durch Absaugung. <u>Technische Beschreibung:</u> <table> <tr> <td>Originalaufnahme</td><td>16 mm: 82,40 m; 35 mm: 206 m</td></tr> <tr> <td>Trick (Schemazeichnung):</td><td>16 mm: 15,20 m; 35 mm: 38 m</td></tr> <tr> <td>Vor- und Nachspann:</td><td>16 mm: 8,70 m; 35 mm: 21,75 m</td></tr> <tr> <td>Zwischentitel:</td><td>16 mm: 26,70 m; 35 mm: 66,75 m</td></tr> </table> <u>Hergestellt für:</u> Hochschulunterricht (Ursprünglicher Verwendungszweck: Forschungsfilm) <u>Zensurergebnis:</u> Von der Zensur befreit lt. § 4 Abs. 1 des Lichtspielgesetzes vom 12. 2. 1934. <u>Literatur:</u> L. Prandtl „Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung“, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1927, H. 21. L. Prandtl „Abriß der Strömungslehre“, Vieweg, Braunschweig 1935, (III § 1—7).		Originalaufnahme	16 mm: 82,40 m; 35 mm: 206 m	Trick (Schemazeichnung):	16 mm: 15,20 m; 35 mm: 38 m	Vor- und Nachspann:	16 mm: 8,70 m; 35 mm: 21,75 m	Zwischentitel:	16 mm: 26,70 m; 35 mm: 66,75 m
Originalaufnahme	16 mm: 82,40 m; 35 mm: 206 m								
Trick (Schemazeichnung):	16 mm: 15,20 m; 35 mm: 38 m								
Vor- und Nachspann:	16 mm: 8,70 m; 35 mm: 21,75 m								
Zwischentitel:	16 mm: 26,70 m; 35 mm: 66,75 m								

Abb. 4.8: Der RfdU-Karteikarte ist zu entnehmen, dass der Film vom Forschungsfilm zum Hochschulunterrichtsfilm wurde.

Medienkatalog und der epistemische Statuswechsel zunächst eine enorme Vergrößerung der Kopienzahl und damit des Distributionsradius.

Was zuvor noch von Prandtl selbst respektive seinen Mitarbeiter:innen erledigt werden musste, lief nun ohne sein Zutun über die RfdU. Die RfdU nahm Leih- und Kaufbestellungen entgegen, führte Korrespondenzen, fertigte Kopien an, verpackte und verschickte die Filmrollen, standardisierte die Preise, überprüfte zurückgeschickte Rollen, etc. Mit anderen Worten: Der Film wurde zur standardisierten Handelsware. Das hieß auch, dass er nicht nur von seinem Macher, sondern insbesondere auch von den Bedingungen seiner Produktion getrennt – um nicht zu sagen: entfremdet – wurde. Während Prandtl in seiner Person für die Arbeit und die Mühen stand, die in den Film hineingesteckt wurden, und er über den Aufwand und die Umwege auskunftsfähig war, die zu dessen Produktion nötig waren, war der RfdU-Film ein abstrahiertes Gut, das mit neuer Bedeutung aufgeladen werden konnte.

Die Warenförmigkeit und mit ihr der ökonomische Wert, den der Film als C 1 erhielt, war für Prandtl jedoch nicht unproblematisch. Denn auch er hatte den Film bereits als Einnahmequelle benutzt. Diese drohte nun zu versiegen. Prandtl äußerte die Sorge, dass mit der Übernahme des Films durch die RfdU die Finanzierung weiterer Filme bedroht werden würde. Denn durch Lieferungen von Filmkopien – besonders solche ins Ausland – seien »die Kosten der Herstellung neuer Filme gedeckt« worden.¹⁰³ Daher willigte er zwar ein, die Filmnegative bei der RfdU zu lassen, jedoch unter dem Vorbehalt, dass »dem Institut das Eigentum an den Negativen vorbehalten« bleibe.¹⁰⁴

Mit dem Statuswechsel des Films zur Ware entstand zudem eine Spannung zur bisherigen Funktion des Films als wissenschaftlichem Beziehungsgut, mit dem Prandtl in Austausch mit Kollegen treten konnte. Es trafen nun Gaben- und Warenökonomie aufeinander. Da den Wissenschaftler:innen der unmittelbare Kontakt mit ausländischen Instituten durch das REM verboten wurde,¹⁰⁵ fragte Prandtl beispielsweise nach, wie mit einer Bestellung der Holländischen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Amsterdam umzugehen sei: »Wenn die Reichsstelle der Ansicht ist, daß sie selbst eingeschaltet werden müsse, dann müßte auf irgendeinem Wege das Institut, um mit seiner künftigen Filmarbeit nicht geschädigt zu sein, an dem Verdienst für den Verkauf der Filmkopie beteiligt werden.«¹⁰⁶

103 Prandtl an Reichsstelle, 9. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

104 Prandtl an Reichsstelle, 30. 10. 1935 und 9. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

105 Vgl. Zusatzterlass vom 12. 8. 1935 zu Rusts Runderlass (6. 2. 1935).

106 Prandtl an Reichsstelle, 9. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

Als Prandtls Nachfragen drei Wochen unbeantwortet blieben, erkundigte er sich mit Nachdruck und dem Verweis auf weitere Bestellungen.¹⁰⁷ Das Insistieren zeitigte Erfolg. Aufgrund (noch) fehlender Regelungen seitens der RfdU und des Ministeriums bezüglich der Auslieferung ins Ausland und, wie sie schrieben, im Interesse von Prandtls Zusammenarbeit mit der »ausländischen Kollegenschaft« wurde ihm erlaubt, den Film zu einem selbst festzulegenden Preis auszuliefern. Allerdings mit der Einschränkung, die Preisberechnung anders anzusetzen als im Falle von Lieferungen an deutsche Institute. Eine generelle Beteiligung an den Einnahmen der RfdU wurde Prandtl jedoch mit der Begründung versagt, dass die RfdU als gemeinnützige G.m.b.H. »keinerlei Gewinnabsichten« verfolge. Bezüglich weiterer Filme stellte die RfdU ihm dafür aber in Aussicht, dass in Zukunft Filme derjenigen Institute teilweise oder voll finanziert werden sollen, die bereits geeignete Hochschulfilme hergestellt hätten. Prandtls Institut würde dabei aufgrund der bisherigen filmischen Arbeit Berücksichtigung finden.¹⁰⁸ Es zeigt sich hier ein wiederkehrender Aspekt in der Geschichte von Objekten, den bereits Igor Kopytoff in seinem Aufsatz zu »biography of a thing« beschrieben hat. Zwar ist die Ware, die von ihrer Geschichte entfremdet ist, der dominierende Existenzmodus von Dingen in der Moderne, aber es ist keineswegs der einzige. Sie können gleichzeitig – wie Prandtls Film hier – in moralischen Ökonomien des Austauschs existieren.¹⁰⁹

Aus den Hörsälen in die Rüstungsfirmen

Der Einsatzbereich von C 1 blieb nicht auf den Hochschulbetrieb beschränkt. Als staatlicher Lehrfilm konnte er zu einer Wissensressource für Industrie und Militär werden. 1936 kontaktierte Gotthard Wolf, der damalige Referent für technisch-wissenschaftliche Filme der Hochschulabteilung, der aufgrund seiner späteren Rolle als Gründer und Direktor des Instituts für den Wissenschaftlichen Film noch wichtig werden wird, Ludwig Prandtl und ersuchte ihn um Rat bezüglich der »grundsätzlichen Klärung« über die Auslieferung von Filmen der RfdU an »private Stellen«. Die Anfragen nach dem Film hätten sich in letzter Zeit gehäuft. Gemäß der Erlasse von

107 Prandtl an Reichsstelle, 28. 11. 1935, AMPG I/44/1305.

108 Reichsstelle an Prandtl, 3. 12. 1935, AMPG I/44/1305.

109 Igor Kopytoff, »The Cultural Biography of Things: Commoditization as Process«, in: Arjun Appadurai (Hg.), *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press 1986, S. 64–91.

Reichsminister Rust (vom 6.2. und 12. 8. 1935) dürften die »Filme der Hochschulabteilung lediglich an Hochschulen und deren Institute« ausgeliefert werden. Bevor nun die RfDU sich an Rust wende, möchte Wolf von Prandtl wissen, ob dieser grundsätzlich eine allgemeine Entscheidung in irgendeine Richtung fällen oder lieber entsprechend einzelner Anfragen entscheiden möchte.¹¹⁰ Prandtl wiederum antwortete, dass er nicht beabsichtige, eine Sonderregelung zu beantragen, wohl aber über die Entscheidungen des Ministers informiert werden wolle.¹¹¹

Eine der erwähnten Anfragen kam von den Heinkel-Flugzeugwerken in Rostock von einem gewissen Ingenieur Martiny.¹¹² Ernst Heinkel, Gründer und Leiter der Firma, setzte seit Beginn seiner Karriere insbesondere auf die Rüstungsproduktion und profitierte von der 1932 eingesetzten Remilitarisierung der Luftfahrtindustrie durch seine Spezialisierung auf Militärflugzeuge. Die Heinkel-Flugzeugwerke avancierten schließlich zum zentralen Wirtschaftspartner der deutschen Luftwaffe.¹¹³ Heinkel war ferner ein wichtiger Auftraggeber für das KWI und die Versuchsanstalt Prandtls. Der spätere Gründer des Instituts für den wissenschaftlichen Film, Gotthard Wolf, und der als »Vater der modernen Aerodynamik« gefeierte Urheber des Strömungsfilms berieten sich folglich hinter dem Rücken des Reichsministers darüber, ob der Film an eine der wichtigsten deutschen Rüstungsfirmen ausgeliefert werden soll. Für den Strömungsfilm bedeutete das, dass er selbst zu einem juridisch-politischen Objekt wurde, an dem rechtliche Prozesse und institutionelle Verhältnisse diskutiert, verhandelt und ausgelotet wurden.

Anfang 1937 wurde Prandtl dann über die ersuchte Änderung bezüglich der Auslieferung an weitere Stellen informiert:

Da in letzter Zeit ausserordentlich viele Anfragen von anderen amtlichen oder halbamtlichen Stellen des In- und Auslandes wegen Überlassung unserer Filme an uns gelangt sind, wurden wir durch besonderen Erlass des Herrn Reichs- und Preussischen Ministers für Wissenschaft[,] Erziehung und Volksbildung ermächtigt, zu den üblichen Bedingungen auch an diese Stellen unsere Filme abzugeben. Zu den angeforderten Filmen gehören auch die beiden unter Ihrer Leitung hergestellten Strömungsfilme, für die besonderes Interesse von seiten des Reichsluftpostführers,

110 Wolf/RfDU an Prandtl, 26. 8. 1936, AMPG I/44/1306.

111 Prandtl an Wolf/RfDU, 11. 9. 1936, AMPG I/44/1306.

112 Wolf/RfDU an Prandtl, 26. 8. 1936, AMPG I/44/1306.

113 Roman Fröhlich, »Der Häftlingseinsatz wurde befohlen.« *Handlungsspielräume beim Einsatz von Häftlingen des KZ Sachsenhausens im Heinkel-Flugzeugwerk Oranienburg*, Berlin: Metropol Verlag 2018, S. 46, 48–49.

der Reichsmarineleitung und ähnlicher Stellen vorliegt, die schulische Aufgaben entsprechend denen der Lehrstühle der Hochschulen haben.¹¹⁴

Der Brief zeigt zwar, dass Prandtls Film auch in Bezug auf die Filmauslieferung institutionenbildend wirkte und für die Erweiterung des Adressatenkreises der RfdU sorgte. Er wirft jedoch auch einige Fragen auf: So findet sich weder ein konkreter Verweis auf den »besonderen Erlass« mit Datum oder Ähnlichem, noch wurde dieser – wie zuvor üblich – im Anhang mitgeschickt, noch findet sich ein solcher Erlass unter den abgedruckten Erlassen in *Film und Bild*. Ebenso ist nicht mehr von privaten Stellen die Rede, wie in Wolfs Anfrage, sondern von »amtlichen oder halbamtlichen Stellen«. Wie offiziell war der erwähnte Erlass nun, was hatte »halbamtlich« zu bedeuten und zählten die Heinkel-Flugzeugwerke als halbamtliche Stelle?¹¹⁵ Es stellt sich auch die Frage, ob eine Auslieferung der Filme an Heinkel nicht dem damals gültigen Lichtspielgesetz (§ 4 Abs. 1) widersprochen hätte, das eine Vorführung von wissenschaftlichen Filmen nur zu »wissenschaftlichen Zwecken« an »öffentlichen oder als öffentlich anerkannten Bildungs- oder Forschungsanstalten« von der Zulassung respektive Zensur befreite.¹¹⁶ Prandtl gab sich jedenfalls mit den Änderungen zufrieden und antwortete knapp: »Auf das obige Schreiben antworte ich gerne, daß ich mit der Auslieferung meiner Strömungsfilme an alle durch die behördlichen Regelungen zulässigen Stellen einverstanden bin.«¹¹⁷ So sorgenvoll sich Prandtl um die Gestaltung der Filme vor deren Veröffentlichung bemühte, so leidenschaftslos zeigte er sich bezüglich deren Distribution. Wie und wo das von ihm bereitgestellte Wissen in Filmform wirksam wurde, so ließe sich folgern, interessierte ihn nicht in gleichem Maße. Erneut zeigt sich hier das Doppelgesicht Prandtls im Nationalsozialismus: einerseits das eines unpolitischen Wissenschaftlers, andererseits das eines willigen Zuarbeiters des NS-Regimes.

Wer der Ingenieur Martiny von den Heinkel-Flugzeugwerken war, der die Filme bestellt hatte, ob die Filme tatsächlich ausgeliefert wurden oder wie und vor wem sie in dem Rostocker Werk Heinkels vorgeführt wurden, konnten wir nicht rekonstruieren. Neben Heinkel wurden sie jedoch von weiteren Stellen bestellt, die nicht nur Kriegsforschung betrieben, sondern

114 Schwarz/RfdU an Prandtl, 5. 2. 1937, AMPG I/44/1306.

115 Offiziell wurde Heinkel erst 1943 zwangsverstaatlicht.

116 Anonym, »Lichtspielgesetz. Vom 16. Februar 1934«, in: *Reichsgesetzblatt* 17 (1934), S. 95. Der Abschnitt ist eine Übernahme des § 1 des Lichtspielgesetz von 1920, vgl. Anonym, »Lichtspielgesetz. Vom 12. Mai 1920«, <http://www.documentarchiv.de/wr/1920/lichtspielgesetz.html>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.

117 Prandtl an RfdU, 15. 1. 1937, AMPG I/44/1306.

auch der Kriegsführung nahestanden. Der Liste der bis 1941 »bestellten technischen Filme von den Instituten« ist zu entnehmen, dass C 1 und C 2 durch das Institut für technische Physik Lufttechnische Akademie Gatow bestellt wurden.¹¹⁸ Die Bestellung ging bei Prandtl ein, der diese dann an die RfdU weiterleitete.¹¹⁹ Leiter des Instituts für Physik sowie des Instituts für Ballistik an der Lufttechnischen Akademie in Gatow war Hubert Schardin, ehemaliger Assistent an der TH Berlin von Carl Cranz, der wiederum Mitbegründer der Ballistik als Disziplin gewesen ist.¹²⁰ Die Lufttechnische Akademie war neben der Luftkriegsakademie eine der beiden Akademien der Luftwaffe. Parallel zur militärischen Ausbildung wurde ein technischer Ausbildungsgang geschaffen, da erkannt worden sei, »dass technische Expertise in einem künftigen Krieg unerlässlich sein würde«.¹²¹ Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass einige der zukünftigen Befehlsträger der Luftwaffe C 1 gesehen hatten. Was sie mit dessen Inhalt, mit dem fluidodynamischen Wissen, das er enthielt, genau anstellten, bleibt hingegen der Imagination überlassen.

118 »Übersicht der bisher bestellten technischen Filme von den Instituten«, vor 31. 12. 1941, TIB RWU A19.

119 Prandtl an RfdU, 24. 6. 1936, AMPG I/44/1306.

120 Vermutlich war es Schardin selbst, der die Strömungsfilme bei seinem Kollegen Prandtl bestellt hatte. Schardin und Prandtl teilten ein Interesse an Forschung mittels Film: Gleich der Fluid- respektive Aerodynamik ist die Ballistik ein experimentelles und vor allem ein visuelles Forschungsgebiet. Fluide wie Luft und Wasser laufen Gefahr, durch intrusive Messverfahren gestört zu werden, weswegen optisch nicht-intrusive Verfahren wie verschiedene Arten fotografischer Aufzeichnungen eingesetzt wurden und werden. Mehr noch als bei der Fluidodynamik laufen die Prozesse in der Ballistik sehr schnell ab, weswegen die Entwicklung spezifischer Kameras und Aufnahmeverfahren wie der Funkenkinematografie Bedingungen der Möglichkeit der experimentellen Untersuchung sind. Es gibt auch ganz direkte Bezüge zwischen Schardin und Prandtl: Schardin legte Bilder aus Prandtls Film in hochwertigen Abzügen seinen Berichten bei und sie beide waren für die Deutsche Akademie der Luftfahrtforschung tätig. Schardin ist hier aber vor allem deswegen von Interesse, weil auch er Filme zum Hochschulkatalog der RfdU beitrug, auf die wir im nächsten Kapitel zurückkommen werden.

121 Cornelia Briel, Regine Dehnel, »Die Einrichtungen der Luftwaffe in Berlin-Gatow 1935–1945«, in: Dies., Jürgen Buby (Hg.), *Kriegswichtig! Die Bücher der Luftkriegsakademie Berlin-Gatow*, Berlin: Verlag kompakt 2015, S. 8–24, hier S. 17; vgl. dazu auch Mailkorrespondenz der Autor-innen mit Oliver Frei vom Militärgeschichtlichen Museum, Flugplatz Berlin-Gatow, 28. 9. 2022.

Die beiden Strömungsfilme C 1 und C 2 waren weder Propagandafilme noch gehörten sie zu jenen Lehrfilmen, die Rassenhygiene, »Blut-und-Boden« oder die Volksgemeinschaft propagierten. Generell sind wissenschaftliche Filme nur selten unmittelbar als ideologisch zu identifizieren, da sie sich auf nüchterne Art Sachthemen widmen. Jedoch heißt das im Umkehrschluss nicht, dass wissenschaftliche Filme nicht ebenso politische und ideologische Interessen stützen können. Die Analyse der institutionellen und historischen Hintergründe der RfDU sowie der konkreten Verwendung von Prandtls Filmen hat bereits gezeigt, wie ein zunächst unscheinbarer wissenschaftlicher Film eine Wissensressource für den geplanten Vernichtungskrieg werden konnte und die Institution bei ihren Zielen der Gleichschaltung stützen und sogar prägen konnte. Bei solchen institutionellen Analysen bleibt jedoch die Frage weitgehend unbeantwortet, weswegen eine nationalsozialistische Institution die Strömungsfilme Prandtls an die erste Stelle ihres Hochschulkatalogs stellte und horrende Kosten für deren Aufbereitung auf sich nahm. Dieser Frage wollen wir nun konzentrierter nachgehen, indem wir uns zunächst – über die linearen Trajektorien des einen Films hinausgehend – den neuen Nachbarschaften widmen, die der Strömungsfilm im Verleihsystem der Hochschulabteilung erhielt. Später werden wir uns dann der Ästhetik der Bilder selbst zuwenden.

Mit dem Eingang in die RfDU wurden die Strömungsaufnahmen erstmals in ihrer Geschichte Teil einer Filmsammlung. Auf Prandtls Filme folgten mit C 3 *Farbensinn der Bienen* und C 4 *Sprache der Bienen* zwei Filme des späteren Nobelpreisträgers Karl von Frisch aus dem Zoologischen Institut in München. C 5 war der Film *Intelligenzprüfung an Affen* von Wilhelm Trendelenburg, Direktor des Physiologischen Instituts der Universität Berlin und selbst Filmreferent.¹²² C 6 *Beeinflussung des freigelegten Kaninchenherzens* und C 7 *Thigmotaxis, Thermotaxis, Galvanotaxis – Versuche an Paramäcien* zum Reizempfinden des Pantoffeltierchens stammten aus dem DEGEWI-Bestand und von einem der einflussreichsten deutschen Veterinärmediziner jener Zeit, Alfred Trautmann, Leiter des Physiologischen Instituts an der Tierärztlichen Hochschule Hannover. C 8 *Keimung und Wachstum der Erbse* wurde durch eine in *Film und Bild* sowie in weiteren Quellen nicht namentlich erwähnte

¹²² In frühen Quellen findet sich eine minimal veränderte Reihenfolge der Filme: Trendelenburgs Film wird als C 3 und die von Frischs Filme als C 4 und C 5 aufgeführt, vgl. *Film und Bild* 2 (1936), S. 24.

Person erstellt. Über seine Provenienz konnten wir nichts herausfinden. C 9 bis C 14 sind gynäkologische DEGEWI-Filme von Walter Stoeckel, Direktor der Universitätsfrauenklinik Berlin/Charité und behandelnder Arzt Martha Goebbels, sowie seines Schülers Günther Schultze. Beide waren Befürworter von Abtreibungen und Sterilisationen aus eugenischen Gründen. Nach den gynäkologischen Filmen folgen bis C 20 weitere medizinische Filme, darunter drei Filme zur *Unfruchtbarmachung der Frau* des Gynäkologen und Direktors der gynäkologischen Klinik der Charité Georg August Wagner.¹²³

Alle diese Filme waren keine Eigenproduktionen der RfdU, sondern Aufbereitungen von Filmmaterial von vor 1933. Die medizinischen Filme sind im Vergleich zu anderen Disziplinen überrepräsentiert, was auf die beschriebene Übernahme des DEGEWI-Bestandes zurückzuführen ist. Trotzdem lässt die Auswahl und Anordnung der Filme einige Interpretationen zu den wichtigsten Selektionskriterien der RfdU zu. Die Liste der Autoren der ersten C-Filme legt nahe, dass die RfdU Interesse daran hatte, ihren Hochschulkatalog mit renommierten Filmautoren zu beginnen, die zum Teil – wie im Falle von Frischs und Prandtls – internationale Aushängeschilder der deutschen Wissenschaft waren. Inwiefern die politischen Einstellungen der Autoren ein Auswahlkriterium war, darüber lässt sich streiten. Jedenfalls entsprachen diese den gängigen Einstellungen der erzkonservativen deutschen Professorenschaft. Unabhängig davon, ob sie NSDAP Mitglieder waren, unterstützten viele der genannten Filmautoren die bevölkerungspolitischen Ideen der Nationalsozialisten – etwa im Falle Stoeckels, Schultzes, Wagners, Trautmanns oder von Frischs.¹²⁴

123 Vgl. »Bis zum 1. April 1937 aus vorhandenem Material fertiggestellte Hochschulunterrichtsfilme«, TIB RWU SO2 Arbeitsberichte bis 1941; zu Wagner vgl. Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 142.

124 Von Frischs Verhältnis zum Nationalsozialismus ist wie das Prandtls schwer auf einen Nenner zu bringen. In seinen Memoiren zeichnet er das Bild des bei den Machthabern unbeliebten Wissenschaftlers. So schützte auch er jüdische Kollegen und sah die Arbeit des Instituts sowie seine Position aufgrund »ungeklärter Abstammung« seiner Großmutter bedroht. Er versuchte, »das Geschehen ringsum, auf das wir keinen Einfluß hatten, so wenig wie möglich zur Kenntnis« zu nehmen (vgl. von Frisch, *Erinnerungen* (1973 [1957]), S. 120). Gleichzeitig profitierte er persönlich und in seiner wissenschaftlichen Tätigkeit vom Nationalsozialismus. Er erhielt zwischen 1940 und 1941 eine Gehaltserhöhung von beinahe 10000 RM (vgl. Tania Munz, *The Dancing Bees*, Chicago, London: University of Chicago Press 2017, S. 122); seine Arbeit wurde als kriegswichtig eingestuft und er konnte diese bis Kriegsende fortführen. Ebenso rechtfertigte er in den 1930er Jahren verschiedentlich die NS-Eugenik mit drastischen Worten, so auch in *Du und das Leben* von 1936 (Karl von Frisch, *Du und das Leben. Eine moderne Biologie für Jedermann*, Berlin: Am Deutschen Verlag 1936, S. 344–346). Besonders problematische Abschnitte wie »Zukunftssorgen« und »Eugenik« wurden in den Neuauflagen nach dem Krieg gestrichen respektive erheblich verändert (vgl. die Auflage von 1966 im Ullstein Verlag).

Trotz der Überzahl der medizinischen unter den ersten veröffentlichten Filmen setzte der Katalog nicht mit diesen an. Das mag damit zusammenhängen, dass die entsprechenden Dokumente zur Übernahme der DEGEWI durch die RfdU erst am 3. Januar 1936 von beiden Seiten unterzeichnet wurden –¹²⁵ und damit just in dem Monat, in dem die (Nicht-DEGEWI-) Filme C 1 bis C 5 bereits als Veröffentlichungen angekündigt wurden. Hatte also die RfdU auf Filme anderer Provenienz und Disziplin gesetzt, weil nicht sicher war, ob die Übernahme gelingt? Ein anderer Grund, könnte gewesen sein, dass die biologischen und technischen Filme bewusst an den Anfang gesetzt wurden, um eine größere disziplinäre Diversität zu signalisieren.

Die technischen Wissenschaften hatten und haben in Sammlungen wissenschaftlicher Filme einen prekären Stand. Das kann mit ihrer mangelnden Anschaulichkeit und dem teilweise hohen Abstraktionsgrad ihrer Phänomene zusammenhängen. Oft sind sie zudem stark an Messungen und Datengewinnung orientiert, was für Lehrfilme wenig bis kaum interessant ist. Innerhalb der Hochschulabteilung der RfdU waren unter den technischen Filmen folgende Disziplinen vertreten: die Mathematik, Physik und Chemie, sowie die an Bergakademien vertretenen Fächer.¹²⁶ Verglichen mit den anderen Disziplinen – wie der Physiologie, Verhaltensforschung, Biologie und Medizin, die auf Sichtbarmachung, Vermittlung und Singularität der Phänomene setzten – waren die technischen Wissenschaften bis Kriegsbeginn deutlich unterrepräsentiert. Ab 1940 erlebten sie innerhalb der RfdU/RWU einen jähen Aufschwung. Mit Prandtls Filmen als Auftakt konnte der technischen Sektion mehr Gewicht gegeben und zugleich ein Forschungsbereich gestärkt werden, der nach unideologischer Grundlagenforschung aussah, obwohl er faktisch für die Rüstungsforschung zentral war und sich viele seiner aerodynamischen Anwendungen gegen die Versailler Verträge richteten.

Die Entscheidung, den Katalog mit den Filmen Prandtls zu beginnen, war sicherlich auch durch den zu erwartenden Erfolg motiviert. Mindestens die ersten vier Filme im Katalog – die Filme Prandtls und von Frischs – waren nicht zuletzt aufgrund ihrer bereits zuvor gegebenen Bekanntheit eine sichere Wette für die RfdU. Ihre Karriere setzte sich nach der Veröffentlichung fort: 1940 zählten C 1 bis C 4 zu den meistverkauften Filmen und können entsprechend als Blockbuster des deutschen Hochschulfilms gesehen werden. C 1 wurde 68 mal, C 2 43 mal, C 3 52 mal, C 4 56 mal verkauft. Auf über 40

¹²⁵ Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 93.

¹²⁶ Vgl. »Aufgabenbereich des Referates für die technischen Wissenschaften und augenblicklicher Stand der Filmarbeit an den Technischen Hochschulen«, in Schriftenwechsel innerhalb der Abteilung X [Hochschulabteilung] bis 31. 12. 1941, TIB RWU A19.

verkaufte Kopien kamen nur eine Handvoll weiterer der knapp 450 C-Filme.¹²⁷ Das sind die Summen verkaufter Kopien. Kopien, die nur verliehen wurden, sind nicht miteingerechnet. Um nun eine Vorstellung von der Anzahl an Personen zu bekommen, die die Filme letztlich gesehen haben, müssen diese Summen um ein Vielfaches multipliziert werden, da die Lehrfilme – einmal erworben – über viele Jahre hinweg immer wieder vorgeführt wurden.

Die Geschichte der Filme von Karl von Frisch weist einige Parallelen zu Prandtls Filmen auf, was deren Produktion, Vorführung, sowie visuelle Epistemologie angeht. Von Frisch produzierte in den 1920er und 1930er Jahren – etwa zeitgleich mit Prandtl – eine Reihe von Filmen über die Sinneswahrnehmung von Tieren.¹²⁸ Bereits 1924 hatte von Frisch einen Film über den Tanz der Bienen auf einem Kongress vorgeführt. Seine Vorlesungen vor Fachpublikum wie auch vor einer breiteren Öffentlichkeit begleitete er in der Folge – ähnlich wie Prandtl – regelmäßig mit Stand- und Bewegtbildern.¹²⁹ Gemäß der Wissenschaftshistorikerin Tania Munz hat von Frisch seine Filme dabei – auch eine Analogie zu Prandtl – nicht als »fixed products«, sondern vielmehr als »rather constantly evolving, organic outgrowths of his work« behandelt. »[H]e frequently cut and pasted existing strips to adapt to particular needs and time constraints.«¹³⁰ Mindestens acht dieser frühen Forschungsfilme (es folgten weitere) wurden zu Unterrichtsfilmen aufbereitet und durch die Abteilung Hochschulfilm der Rfdu/RWU veröffentlicht. Mit der Veröffentlichung wurden von Frischs Filme dann zu fixierten Produkten. Anders als Prandtl reflektierte von Frisch – zumindest später in seinen Memoiren – explizit über die Vorteile von Film gegenüber dem »Worte alleine«.¹³¹ Munz gibt an, dass für von Frisch die Kraft des Films nicht nur aus seinem Gegenstand, sondern auch aus dem Medium selbst herrührte – aus seiner Neuartigkeit wie auch aus seiner Fähigkeit, die Bewegungen zu zeigen, die Worte nicht zu vermitteln vermochten.¹³²

127 Dies gemäß der Liste von Tolle, *Reichsanstalt* (1961), S. 124–136; vgl. auch »Aufgabenbereich des Referates für die technischen Wissenschaften und augenblicklicher Stand der Filmarbeit an den Technischen Hochschulen«, in: *Schriftenwechsel innerhalb der Abteilung X [Hochschulabteilung]* bis 31. 12. 1941, TIB RWU A19.

128 Vgl. für dies und folgendes: Munz, *The Dancing Bees* (2017), S. 71–75.

129 Von Frisch, *Erinnerungen* (1973 [1957]), S. 82–83.

130 Munz, *The Dancing Bees* (2017), S. 72.

131 »Den Schlusseffekt bildete ein Film von den Tanzenden Bienen – ein damals noch ungewohntes Demonstrationsmittel bei wissenschaftlichen Vorträgen. Das Schauspiel des Bienentanzes ist ein faszinierender Vorgang, aber man kann durch Worte allein keine richtige Vorstellung davon vermitteln. Der Wunsch, das fesselnde Bilden den Hörern vor Augen zu bringen, führte [...] zur Herstellung des Films.« (Von Frisch, *Erinnerungen* (1973 [1957]), S. 82.)

132 Munz, *The Dancing Bees* (2017), S. 73.

Trotz der sehr unterschiedlichen Materie der Filme lassen sich über die Produktion und Vorführpraktiken hinaus Parallelen zwischen von Frisch und Prandtl feststellen: Beide Wissenschaftler suchten mit ihren Experimenten Kontrolle über eine unkontrollierbare Natur zu erlangen und sie demonstrierten diese Kontrolle im Visuellen. So stellt Munz fest, dass es zu der »visual epistemology« der Filme von Frischs gehört, dass den Tieren zwar eine *agency* zugesprochen werde, es sich dabei aber um eine »constrained and tightly managed nature« handle. Für das wissenschaftliche Experiment hatte das Verhalten vorherseh- und berechenbar zu sein. Berührungsfrei schaffte es von Frisch, die nicht gerade als »trick-performing pets« bekannten Fische und Bienen zu dressieren. Munz schreibt: »Because of the bee's or fish's status as a voluntarily behaving being, von Frisch's control is all the more compelling.«¹³³ Doch es seien nicht nur die Tiere in von Frischs Filmen, sondern auch die Zuschauenden durch seine Filme »dressiert« worden: Die unsichtbaren sensorischen Stimuli für die Fische und Bienen wurden in visuelle Hinweise für die menschlichen Zuschauenden übersetzt.

Auch in Prandtls Filmen wird etwas scheinbar Unkontrollierbares steuer- und eben auch sichtbar gemacht. Insbesondere die technischen Eingriffe wie Absaugung oder Rotation implizieren Kontrolle der turbulenten Bewegungen. Der neue Zusatztitel, den C 1 im Vergleich zu den vorherigen Versionen des Strömungsfilms bei der Aufnahme in die RfU erhielt, bringt auf den Punkt, worum es in den Filmen letztlich ging: um die »künstliche Beeinflussung der Wirbelbildung«.

Generell lässt sich die Verwendung von Film in den Wissenschaften auf einen instrumentellen Grundzug derselben zurückführen. Hans-Jörg Rheinberger beispielsweise spricht bezüglich der Sichtbarmachung in den Wissenschaften von einer »technologischen Verfaßtheit der naturwissenschaftlichen Erkenntnisproduktion« und von einem »technische[n] Momentum,« das »sich im instrumentellen Zugriff als sichtbare Spur, die der Eingriff hinterläßt«, manifestiert.¹³⁴ Der Einsatz von Film in einem experimentellen Setting befeuerte das Versprechen eines steuernden Zugangs zum gefilmten Phänomen. Film kann zurückgespult werden, Ausschnitte können vergrößert oder verkleinert, Abschnitte wiederholt, beschleunigt oder verlangsamt werden. Film verstärkt die Annahme, dass Wissen(schaft) in Technik übersetzt werden kann. Im Nationalsozialismus, in dem Steuerungsphantasien aller

133 Ebd., S. 73–75.

134 Hans-Jörg Rheinberger, »Sichtbar Machen. Visualisierung in den Naturwissenschaften«, in: Klaus Sachs-Hombach (Hg.), *Bildtheorien. Anthropologische und kulturelle Grundlagen des Visualistic Turn*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2009, S. 127–145, hier S. 127.

Art verfolgt wurden (der bestehenden und zukünftigen Bevölkerung, der Massen, der Welt, der Geschichte), sollten wissenschaftliche Filme vielleicht auch deshalb als Hochschulmedium etabliert werden, weil es neue Möglichkeiten der Steuerung versprach.

Nationalsozialistische Filmauswahl

Es gibt noch mindestens zwei weitere Aspekte, die erklären können, weswegen die Filme Prandtls in der RfdU einen solch prominenten Platz einnahmen. Damit begeben wir uns allerdings auf spekulatives Terrain. Erstens wagen wir eine ideologiekritische Lesart des Filmkatalogs und argumentieren dafür, dass die Auswahl der ersten veröffentlichten Filme der Abteilung Hochschulfilm durchaus weltanschaulich motiviert war. Zweitens analysieren wir die Ästhetik von Prandtls Filmbildern genauer und befragen diese auf ihre Vereinbarkeit mit gewissen Charakteristika nationalsozialistischer Propagandabilder.

Zunächst zur Ideologiekritik: Plakativ ausgedrückt liefern die ersten Filme im Medienkatalog Antworten auf die Frage, was es braucht, um einen totalitären Staat aufzubauen. Prandtls C 1 und C 2 liefern Ansätze, wie eine Luftstreitkraft mit zielfähigen Bomben sowie eine Marine mit perfekt gleitenden Torpedos auszustatten wäre; von Frischs C 3 und C 4 zeigen Vorbilder aus dem Tierreich, wie ein Staat unter fleißiger Mitarbeit seiner Teile funktionieren kann; C 5 zu den Intelligenzprüfungen erarbeitet ein wissenschaftliches Instrumentarium zur Differenzierung zwischen niederen und höheren Lebewesen; C 8 erklärt, wie heimische Nutzpflanzen gedeihen, um ausreichend Nahrung für eine wachsende Bevölkerung produzieren zu können; und C 15 bis C 17 zu verschiedenen Methoden der Sterilisierung liefern die medizinische Grundlage dafür, wie diese Bevölkerung (eugenisch motiviert) reguliert werden könnte.

Doch ist eine solche ideologische Deutung hilfreich? Weder sind Erbsen, Bienen, Affen oder Zylinder an sich problematisch, noch fällt ihre Erforschung in die Kategorie einer »ideologieverseuchten Pseudowissenschaft«. Tappen wir damit nicht vielmehr in die Falle eines allgemeinen Ideologieverdachts? Unzweifelhaft ist, dass Film und Pädagogik zentrale Instrumente der NS-Politik waren. Der Verdacht der ideologiegeleiteten Themenwahl sollte also nicht voreilig ausgeschlossen werden. Auch das vordergründig Unideologische eignete sich für ideologische Zwecke.

Selbst wenn die Filme in ihrem wissenschaftlichen Entstehungskontext nicht ideologisch gedacht waren, so bedeutete ihre Aufnahme in die

Filmsammlung der RfdU eine Umwertung.¹³⁵ Das machen auch zeitgenössische Interpretationen der Lehrfilme für die allgemeinbildende Schule oder den zu dieser Zeit herausgegebenen Kulturfilmen ähnlichen Inhalts deutlich. So schlug der Grundschullehrer Heinrich Hundorf unter Berufung auf Zitate aus *Mein Kampf* vor, dass der RfdU-Film *Entwicklung und Vermehrung der Erbse* (F 4) ebenso im nationalpolitischen Unterricht eingesetzt werden könnte, wenn das Wachstum der Erbse als erfolgreicher »Kampf ums Dasein von der Wiege bis zum Grabe« interpretiert würde.¹³⁶ Der Wegbereiter des biologischen Kulturfilms Ulrich K. T. Schulz drehte Ufa-Filme zum Ameisenstaat (1935) und zum Bienenstaat (1937), die laut Peter Zimmermann die »Organisationsform von Insektenstaaten zur Parabel für die formierte Volksgemeinschaft« nutzten.¹³⁷ Und auch von Frisch machte später Filme, die eine solche Leseweise begünstigen, beispielsweise den Hochschulunterrichtsfilm *Die Honigbiene: Entwicklung der Biene und eines Volkes*, der als Portrait der nationalsozialistischen Gesellschaft gesehen werden kann. Darin werden die als träge und nutzlos dargestellten Drohnen von den anderen Bienen verstoßen und getötet.¹³⁸

Bei Filmen aus der Aerodynamik wie *Flugphysik I-III* (F 272–F 274) ist die Verbindung weniger direkt. Doch auch sie wurden für einen neuen Teilbereich im schulischen Curriculum erstellt, den Bereich der »Fluglehre«, der laut dem Historiker Jörg Willer im Physikunterricht eingeführt wurde, um den Nachwuchs für das Flugwesen zu interessieren und auf den Dienst in der Luftwaffe vorzubereiten.¹³⁹ Auch die Erziehungswissenschaftlerin Verena Niethammer betont unter Hinzuziehung der Texte zeitgenössischer Filmpädagogen, dass die Unterrichtsfilme gesellschaftliche Wertvorstellungen repräsentieren, die »auch politisch-ideologisch ausgelegt« wurden.¹⁴⁰ Schmidt weist ganz konkret auf eine Reihe von »[a]pparently innocuous RWU films« hin – wie *Korbflechterei* (1934), *Kinder aus Lappland* (1936), *Der Kuckuck als Brutschmarotzer* (1939/40), um nur wenige zu nennen –, die als Startpunkt für den Unterricht in Sozialdarwinismus, Blut-und-Boden, Vererbungslehre

135 Das beobachtet auch Schmidt im Falle der sogenannten Stoeckelfilme: »Their importance, however, shifted from primarily an educational tool for medical instruction to visual evidence for the allegedly scientific basis of hereditary health policy.« (Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 101.)

136 Zitiert nach Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 130.

137 Zimmermann, *Dokumentarfilm in Deutschland* (2022), S. 92.

138 Vgl. Munz, *The Dancing Bees* (2017), S. 123–127.

139 Jörg Willer, »Physikunterricht unter der Diktatur des Nationalsozialismus«, in: Reinhard Dithmar, Wolfgang Schmitz (Hg.), *Schule und Unterricht im Dritten Reich*, Ludwigsfeld: Ludwigsfelder Verlagshaus 2001, S. 317–330.

140 Niethammer, »Indoktrination oder Innovation?« (2016), S. 47.

oder Ideen über die Reinheit des nordischen Menschen dienten. 25400 Kopien alleine dieser Filme gab es in der RWU.¹⁴¹ Gut möglich, dass jedes Schulkind diese Filme im Laufe seiner Schulzeit irgendwann einmal gesehen hat.

Mehr noch als die Einschlüsse und Umwertungen der Filme weisen die Ausschlüsse von Filmen respektive ihrer jüdischen Filmautor·innen auf die ideologische Orientierung der Institution hin: 1938 stellte die RfdU fest, dass sie aus dem übernommenen DEGEWI-Material (mindestens) zwei Filme von jüdischen Autoren veröffentlicht hatte. Abteilungsleiter Gauger, der sich um die Übernahme der medizinischen DEGEWI-Filme bemüht hatte, veranlasste daraufhin die sofortige Streichung des Hochschulfilms C 80 *Entfernung einer Hirngeschwulst aus dem rechten Schläfenlappen mittels Hochfrequenz* von einem Prof. Dr. Keyßer und des Archivfilms B 42, sowie die Tilgung der entsprechenden Karteikarten. Ebenso sollten die Titel einiger der Stoeckelfilme gekürzt werden¹⁴² – vermutlich, da jüdische Filmautor·innen oder Mitarbeiter·innen darin genannt wurden. Schmidt schreibt, dass die RfdU 1939 wiederum 93 von den insgesamt 411 übernommenen Filmen ausgeschlossen hätte, da sie möglicherweise von jüdischen Autor·innen stammen könnten.¹⁴³ Die Strategie der Tilgung von Namen wird nach 1945 erneut eingesetzt werden, dann allerdings, um die Filme der im Zuge der Entnazifizierung als belastet eingestuften Autoren weiterzuverwenden, auf die das IWF nicht verzichten wollte.

Nationalsozialistische Ästhetik: strömende Massen

Schließlich kommen wir zu unserer letzten These, warum den Strömungsfilmen eine derart prominente Stellung zukam. Damit begeben wir uns noch weiter auf spekulatives Terrain und laden zu einer essayistischen Annäherung an die Rolle der Ästhetik des Strömungsfilms im Nationalsozialismus ein. Die These lautet, dass die Filme Ähnlichkeiten mit nationalsozialistischen Propagandabildern aufweisen. Daraus folgern wir, dass sie in der visuellen Kultur des Nationalsozialismus einen Nerv getroffen haben könnten. Zwei Bildvergleiche, die die visuellen Analogien zwischen Propaganda- und Einzelbildern des Strömungsfilms betonen, dienen uns dazu, nach der Kompatibilität der Ästhetik mit den visuellen Selbstinszenierungen des NS-Regimes zu fragen.

¹⁴¹ Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 143–157.

¹⁴² Mommsen-Spiess an Schwarz, 22. 7. 1938, BArch R/169/15.

¹⁴³ Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 94.

Das Einzelbild oben auf der nächsten Seite zeigt Prandtls »umströmten Körper« aus dem 1936 veröffentlichten C 1 (Abb. 4.9), das Foto darunter von einer ungenannten Person zeigt die Eröffnung der Olympischen Spiele, ebenso 1936, im Berliner Olympiastadion durch Adolf Hitler (Abb. 4.10). Für den Propagandaapparat des NS-Regimes war Olympia von kaum zu überschätzender Bedeutung. Bereits 1934 war eigens ein Propagandaausschuss dafür eingerichtet worden.¹⁴⁴ Das Olympiagelände war ein architektonisches Vorzeigeprojekt, das in seinen Ausmaßen die megalomanen Pläne für die neue Hauptstadt Germania vorwegnahm. Alle damals verfügbaren Massenmedien sollten die Olympischen Spiele einem Millionenpublikum zugänglich machen. Konfrontieren wir die Bilder miteinander, so lassen sich einige Ähnlichkeiten feststellen: Beide zeigen eine Ansammlung von Punkten – einmal Partikel im Wasser, einmal massenhaft ausgestreckte Arme. Die Position der Partikel und die Richtung der Arme sind jeweils auf ein zentrales Objekt bezogen, das die Bewegung der Partikel und Hände bedingt, sie formt, und kontrolliert. Im oberen Bild ist es der Metallkörper (respektive der unsichtbare Ingenieur als Urheber des Experimentalsettings), im unteren Bild ist es Adolf Hitler. Die geometrische Form des Körpers oben und die Windung der Tribüne unten unterstützen die visuelle Ähnlichkeit der beiden Bilder weiter, wenn auch der schwarz erscheinende Strömungskörper eine größere Präsenz im Bild aufweist. Ebenso ähneln sich die hellen Bildbereiche, die einmal durch Partikelansammlungen zustande kommen, einmal durch die hellen, ausgestreckten Arme nahe der Kamera. Ein Unterschied besteht im Horizont der Bilder: Prandtls Versuche geben weder Aufschluss über die Größe des Gefilmten, noch über die Ausrichtung der Kamera. Bei der Stadionaufnahme hingegen ist eine Horizontlinie wenig unterhalb des oberen Bildrandes zu erkennen.

Auch ein zweiter Vergleich zwischen einem Einzelbild aus C 1 und einem propagandistischen Bild von Hitler, der im Auto durch die Menge fährt, weist überraschende formale Ähnlichkeiten auf. Die Kármán'sche Wirbelstrasse, die ein eben aus dem Bild gezogener Tragflügel hinterlässt, gleicht der hellen, sich durch die Menge windenden Straße, auf der – kaum erkennbar – zwei Autos fahren. Erneut gleichen neben einer dominierenden Form (hier linienförmig) insbesondere die Partikel auf der Wasseroberfläche den nicht mehr als Individuen identifizierbaren Menschen in der Menge. Selbst das Wissen darum, dass das rechte Bild Menschen zeigt, hilft nicht dabei, die Punkte als solche zu erkennen. In diesem Vergleich fehlt ferner beiden Bildern der Horizont. Beiden fehlt ein Hinweis auf die Größenmaßstäbe. Im unteren Bild

¹⁴⁴ Michael Wildt, *Zerbrochene Zeit: Deutsche Geschichte 1918 bis 1945*, München: C. H. Beck 2022, S. 321.

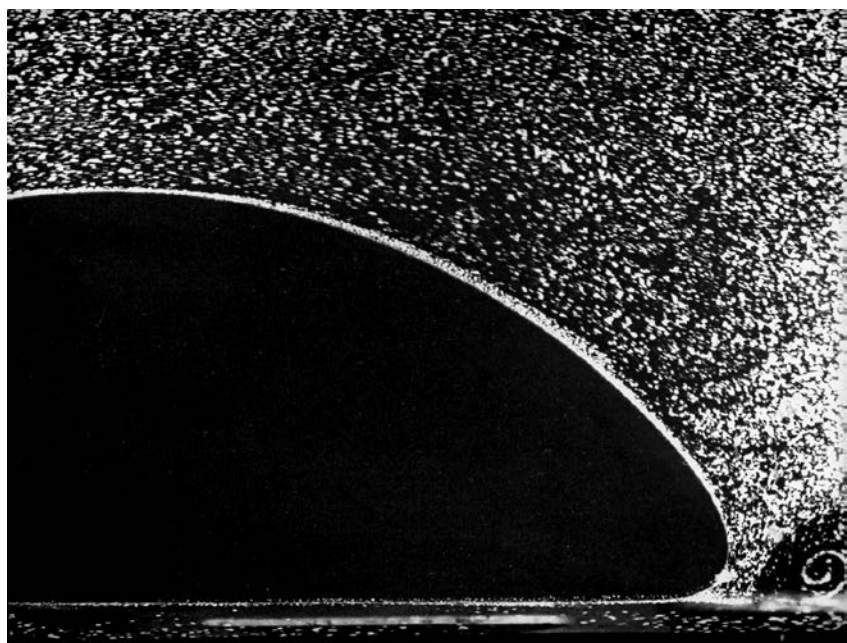


Abb. 4.9 und 4.10: Das obere Bild aus dem 1936 veröffentlichten C 1 zeigt einen Körper im Wasserkanal am Beginn der Strömung, das untere eine Aufnahme der Eröffnung der Olympischen Spiele im Berliner Olympiastadion.

verschwimmt die Menschenmasse zu Punkten, im oberen ist die Flüssigkeit mit Punkten überhaupt erst sichtbar gemacht.

Die Kunsthistorikerin Vera Dünkel hat hervorgehoben, dass das vergleichende Sehen eines der »zentralen methodischen Paradigmen der Analyse und Argumentation« der Kunstgeschichte ist. Eine Theoretisierung dieses Sehens erweist sich jedoch als schwierig, was auf die doppelte Bedeutung des Vergleichs als Analyse- und Argumentationsmittel zurückzuführen sei. Das Feststellen formaler Ähnlichkeiten bleibe dem Verdacht ausgesetzt, dass oft bloß oberflächliche Verwandtschaften nahegelegt respektive suggeriert werden.¹⁴⁵ Vergleiche sollten daher »immer auf der Grundlage bewusst gemachter Erkenntnisinteressen und ausgewählter Kriterien erfolgen.«¹⁴⁶ Das naheliegende, oft aber problematische Kriterium der formalen Ähnlichkeit ist immer zu weiteren Kriterien ins Verhältnis zu setzen, etwa zu Kontexten (gleiche Entstehungszeiten oder -orte), Funktionen, gestalterischen Aufgaben oder zum Thema respektive Motiv der Bilder.¹⁴⁷ Unser Erkenntnisinteresse richtet sich auf die potentielle Kompatibilität von Prandtls Aufnahmen mit der visuellen Kultur des Nationalsozialismus. Eine solche könnte bedeuten, dass die Strömungsfilm unter anderem wegen ihrer Ästhetik zum Gründungsdokument der RfdU werden konnten.

Einige der bekanntesten antifaschistischen Intellektuellen haben die visuelle Kultur des NS-Regimes und ihre Politiken in der Hoffnung analysiert, Erklärungen für den Erfolg des Nationalsozialismus zu finden. Der Kunsthistoriker Klaus Herding fasste treffend zusammen:

Daß der NS eine gewaltige und differenzierte, in sich widersprüchliche kulturelle Maschinerie aufbaute, um die Grenzen zwischen Politik und Kultur zu verwischen, die Massen sich gefügig zu machen, um Krieg und Tod zu verklären, ist bekannt: Kunst als Medium sozialer Kontrolle. Daß die Masse dabei als bloßes Ornament fungierte, wußte Siegfried Kracauer; von der Ästhetisierung der Politik handelt Walter Benjamins berühmte These; daß der Glanz für den Tod Reklame macht, schrieb Theodor W. Adorno; von der ästhetischen Fasziationsgewalt der NS-Bewegung war Ernst Bloch bereits 1924 [...] berührt.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Vera Dünkel, »Vergleich als Methode«, in: Horst Bredekamp, Birgit Schneider, Vera Dünkel (Hg.), *Das Technische Bild. Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*, Berlin: Akademie Verlag 2008, S. 24–28, hier S. 24.

¹⁴⁶ Ebd., S. 27.

¹⁴⁷ Ebd., S. 26–27.

¹⁴⁸ Klaus Herding, »Rezension zu Peter Reichel, *Der schöne Schein des Dritten Reiches. Faszination und Gewalt des Faschismus*, München: Hanser 1991«, in: *Kritische Berichte* 19/3 (1991), S. 80–86, hier S. 81.

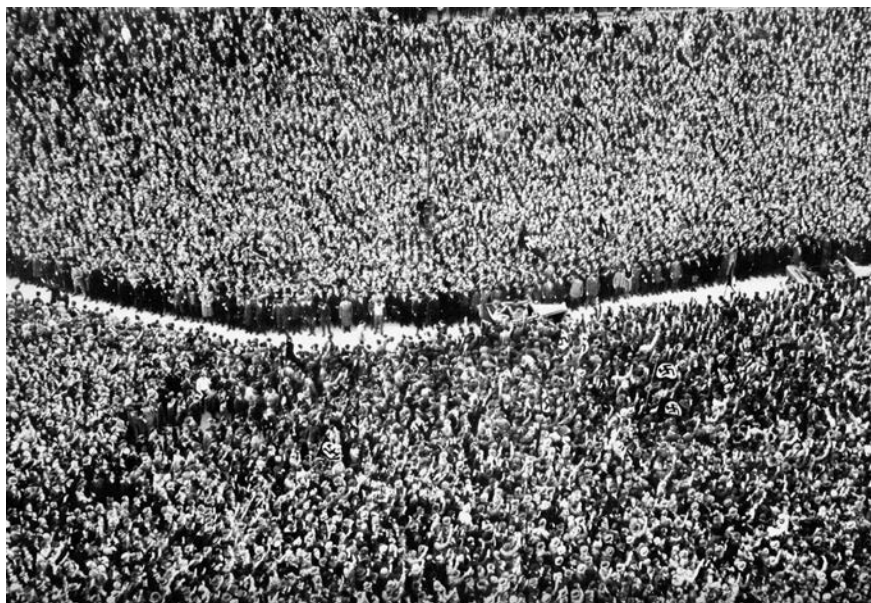
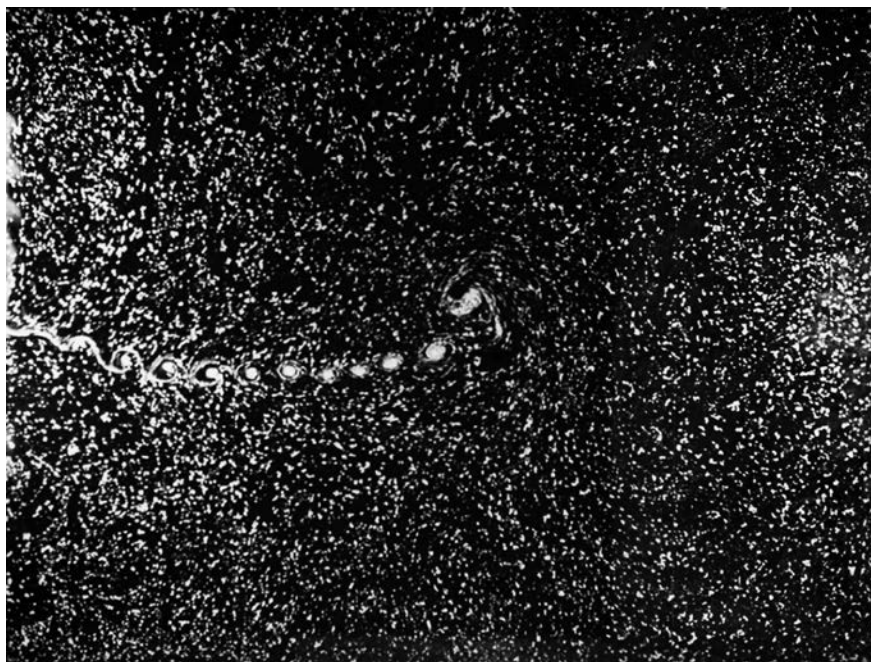


Abb. 4.11 und 4.12: Das obere Bild aus C 1 zeigt eine Kármán'sche Wirbelstraße hinter einem Tragflügel, das untere eine Fotografie von Adolf Hitler, der im Auto durch die Menge fährt.

Diese und spätere Analysen der NS-Ästhetik lassen sich teilweise erstaunlich gut auf die obigen Bildvergleiche anwenden. Der Literaturwissenschaftler Lutz Koepnick fasst die faschistische Ästhetik als »carefully choreographed spectacle of ethereal bodies and geometrical shapes« zusammen.¹⁴⁹ Laut dem Politikwissenschaftler Peter Reichel beruhte die visuelle Kultur des Nationalsozialismus zudem auf harten Kontrasten, klaren Formen sowie auf Bildern, die auf emotionalen Ausdruck setzen.¹⁵⁰ Übertragen auf den Bildvergleich lässt sich also behaupten, dass sich die ätherisch-fluiden Körper und Partikel in beiden Bildern in eben diesen harten Schwarz-Weiß-Kontrasten treffen, die sich an klaren geometrischen Formen ergeben.

Nun ist es jedoch hochgradig umstritten, ob sich überhaupt von einer visuellen Kultur respektive sogar von einer kohärenten Ästhetik des Nationalsozialismus sprechen lässt.¹⁵¹ Was vielfach als NS-Ästhetik bezeichnet wurde, sei oftmals keine NS-Erfindung gewesen, sondern hätte an Darstellungstraditionen der Weimarer Republik angeschlossen.¹⁵² Eine der klügsten antifaschistischen Analysen faschistischer Ästhetik lieferte in den 1980er Jahren die Ausstellung *Inszenierung der Macht – Ästhetische Faszination im Faschismus* der Berliner neuen Gesellschaft für bildende Kunst. Die Ausstellung ging der NS-Faszination analytisch nach, indem sie diese auf ästhetischer Ebene einzuholen suchte. Im Fokus standen dabei nicht die juristischen Leitfragen nach Verboten, Zulässigkeiten und Schuld (die Schlupflöcher für die imaginäre NS-Faszination der BRD-Gesellschaft und darüber hinaus gewesen seien), sondern die Frage, wie der Faschismus die Sinne der Menschen

149 Lutz P. Koepnick, »Fascist Aesthetics Revisited«, in: *Modernism/modernity* 6/1 (1999), S. 51–73, hier S. 51.

150 Peter Reichel, *Der schöne Schein des Dritten Reiches. Faszination und Gewalt des Faschismus*, München: Hanser 1991, S. 14.

151 Der Filmwissenschaftler Karsten Witte hat etwa zu bedenken gegeben, dass eine enge Verknüpfung eines vermeintlichen Filmstils an die »Systemfrage« die Antwort auf die Frage, ob es einen NS-Filmstil gab, bereits vorwegnehmen würde. Damit werde eine Ästhetik überhaupt produziert, was wiederum den unverfälschten Blick auf die Filme verstellen würde. Witte schreibt: »Je gründlicher die Systemfrage verworfen wird, desto sichtbarer werden die Formen.« (Karsten Witte, »Film im Nationalsozialismus. Blendung und Überblendung«, in: Wolfgang Jacobsen, Anton Kaes, Hans Helmut Prinzler (Hg.), *Geschichte des deutschen Films*, Stuttgart: J. B. Metzler 1993, S. 119–170, hier S. 119–220.)

152 Vgl. Peter Zimmermann, Kay Hoffmann, »Von der Gleichschaltungs- und Propaganda-These zur differenzierten Erforschung dokumentarischer Genres«, in: Dies. (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in Deutschland. Bd. 3 ›Drittes Reich‹ 1933–1945*, Stuttgart: Reclam 2005, S. 45–56; Verena Niethammer schreibt bezüglich des Unterrichtsfilms: »Die Filmästhetik des frühen Unterrichtsfilms schließt teilweise an bestehende Konventionen des filmischen Erzählens und Darstellens an.« (Niethammer, »Indoktrination oder Innovation?« (2016), S. 54.)

»erbeuten« konnten.¹⁵³ Doch auch die Ausstellungsmacher:innen kamen nach ihren Analysen vielzähliger ästhetischer NS-Phänomene – wie Massenbilder, Inszenierungen von Körper, Geschlecht, Architektur, u. v. m. – zu dem Schluss, dass sich »bemerkenswerterweise kein Element ermitteln [ließ], das spezifisch faschistisch wäre.« Das Besondere hätte »nicht in den einzelnen Elementen, sondern in ihrer Gliederung« gelegen. Damit ist die Reorganisation bestehender Faktoren zu einem neuen ästhetischen Raum gemeint, in den sich die Individuen eingeordnet und von dem sie profitiert hätten.¹⁵⁴

Die Analyse der Ausstellung lässt sich auf die RfdU und ihre Sammlung anwenden. Weder die Idee, noch die ersten veröffentlichten Filme (Altmaterial), noch die Ästhetik oder Gestaltung der Filme waren neu oder an sich faschistisch. Vielmehr machte die groß angelegte Reorganisation der Elemente das NS-Spezifische der RfdU aus. Die Ästhetik und das Faszinationsvermögen der Filme waren dabei durchaus Bedingungen der Möglichkeit der freiwilligen Beteiligung der Individuen an der NS-Institution. Es spielte eine Rolle, auf welche Weise und zu welchen Zwecken gewisse Ästhetiken eingesetzt wurden, wie sie organisiert, inszeniert und choreografiert wurden. Prandtls Strömungsaufnahmen erlangten zur Zeit des Nationalsozialismus als C 1 und C 2 den Status einer kohärenten Publikation, die bis dato vergleichslos weit verbreitet und vor unzähligen Augen wirksam werden konnte. Ein Bildvergleich ermöglicht es, in Anlehnung an das Vorgehen der Ausstellung *Inszenierung der Macht*, die emotionalen Anteile von anderen sinnlichen Anteilen im Strömungsfilm zu scheiden, und die ansonsten latenten, emotionalen Anteile des scheinbar objektiv-neutralen wissenschaftlichen Film herauszupräparieren. Denn erbeuten lassen sich auch die Sinne in den Wissenschaften.

Damit kommen wir zu einem weiteren Vergleichskriterium der Bilder, ihrem Inhalt. Der wirkt zunächst disparat: Strömungsvorgänge bei Prandtl, Massenbegeisterung bei den Propagandabildern. Umso bemerkenswerter ist es daher, wie plausibel sich die historisch-ästhetische Analyse faschistischer Propaganda des Zeitgenossen Siegfried Kracauer auf die Bilder beziehen lässt, wie er sie insbesondere in dem unveröffentlichten Manuskript *Totalitäre Propaganda* vornimmt.¹⁵⁵ Wie der Historiker Johannes von Moltke in seiner detaillierten Analyse des Manuskripts und dessen Kontexte herausgearbeitet

153 Vgl. insb. nGbK (Hg.), *Erbeutete Sinne. Nachträge zur Berliner Ausstellung »Inszenierung der Macht, ästhetische Faszination im Faschismus«*, Berlin: Nishen 1988.

154 nGbK, »Einleitung«, in: Dies. (Hg.), *Inszenierung der Macht: ästhetische Faszination im Faschismus*, Berlin: Nishen 1987, S. 7–11, hier S. 8–9.

155 Siegfried Kracauer, »Totalitäre Propaganda« [entstanden 1936–38], in: Ders., *Totalitäre Propaganda*, hg. von Bernd Stiegler, Berlin: Suhrkamp 2013, S. 11–158.

hat, zog Kracauer zwei Metaphern respektive Beschreibungsansätze heran, um die Destabilisierung der Wahrnehmung der Subjekte, die durch die Propaganda erreicht werden sollte, zu beschreiben: »optische Effekte der Spiegelung, Brechung und Blendung einerseits« und »haptische Dimensionen von Fließen, Fluss und Verflüssigung andererseits.«¹⁵⁶ Kracauer verweist auf das dynamische und insbesondere hydrodynamische Vokabular der Nationalsozialisten. So schrieb Hitler in *Mein Kampf* »Führen heißt: Massen bewegen können«,¹⁵⁷ und der NS-Pädagoge Ernst Kriek beschrieb die Masse als liquide: »Masse muss flüssig werden, wenn sie gestaltet sein soll«, sie ist »flüssige und flüssigmachende Bewegung, die wohl einst mit dem Sieg in neue Form, Ordnung, Ratio einmünden wird, die sich aber als reine Bewegung so lange in Fluß halten muß, bis sie das Ganze unseres völkischen Lebensraumes ergriffen und durchdrungen hat«. ¹⁵⁸ Durch Terror und Propaganda, so von Moltke, gerate Kracauers Subjekt unter »hydraulischen Druck«: »Wie ein groß angelegtes Ingenieursprojekt, das sich der Massen als Baumaterial bedient, verflüssigt die Propaganda ›den festen Komplex, zu dem der ideelle Oberbau und seine Fundamente zusammengeschweißt sind‹ [Kracauer 2013, S. 38] und leitet dadurch statische gesellschaftliche Verhältnisse in dynamische über«. ¹⁵⁹

Anders als die formale Ähnlichkeit zwischen den Bildern, die unsere Vergleiche implizieren, ist der Inhalt der Bilder – zumindest auf den ersten Blick – nicht derselbe: Einmal geht es um die Analyse und Optimierung von Strömung, einmal um einen politischen Massenkult, bei der eine sehr große Anzahl von Menschen sich derselben Tätigkeit hingeben: der Verehrung ›ihres Führers‹. Der Inhalt der Propagandabilder lässt sich mit Kracauers Analyse jedoch auch anders fassen: Die Masse ist im metaphorischen Sinne flüssig, ein »Strom organischen Lebens«, wie er sie in seinem berühmten Essay »Das Ornament der Masse« schon 1927 bezeichnet hat. Die Masse gleicht insofern in ihrem Verhalten dem faktisch flüssigen Wasser Prandtls.¹⁶⁰ In beiden Bildwelten geht es jedoch nicht nur um das Flüssige, sondern um das Verhalten des Flüssigen und um die Kontrolle, die durch ingenieurtechnisches Wissen respektive Führung möglich wird, ungeachtet, ob es sich

156 Johannes von Moltke, »Ästhetisierung der Politik: Siegfried Kracauers Totalitäre Propaganda«, in: *Germanica* 66 (2020), S. 51–68, hier S. 55–56.

157 Adolf Hitler zitiert nach Kracauer, »Totalitäre Propaganda« (2013 [1936–38]), S. 38.

158 Ernst Kriek zitiert nach Kracauer, »Totalitäre Propaganda« (2013 [1936–38]), S. 37–38;

Ernst Kriek, *Nationalpolitische Erziehung*, Leipzig: Armanen-Verlag 1937, S. 36, S. 38.

159 Von Moltke, »Ästhetisierung der Politik« (2020), S. 58.

160 Siegfried Kracauer, »Das Ornament der Masse«, in: Ders., *Das Ornament der Masse*, Berlin: Suhrkamp ¹³2017 [1927], S. 50–63, hier S. 51.

um unzählige Aluminiumteilchen oder um unzählige Deutsche handelt. Im oberen Bereich der beiden Bilder (Abb. 4.11 und 4.12) verbildlicht sich die Konsequenz der Verflüssigung und der Massenwerdung. Die menschlichen und nicht-menschlichen Punkte verschwimmen gleichsam auf der schwarzen Fläche. Es wird nahezu ununterscheidbar, was die beiden Bilder zeigen. Denken wir den Vergleich nun von C 1 auf die Massenbilder hin, so wird die Analogie grausam: »Das Subjekt,« so von Moltke, »das seine Individualität schon längst an die Masse hat abgeben müssen, wird buchstäblich gänzlich liquidiert: es wird flüssig gemacht und zergeht«. Die Bilder handeln folglich nicht von Subjekten oder Partikeln, sondern es geht auch hier um das kontrollierende Moment, eben um den Ingenieur, der »sich der Massen als Baumaterial bedient«.¹⁶¹

Bei der Filmauswahl für den Medienkatalog der RfdU ging es nicht vordergründig um valides Wissen, sondern darum, dasjenige Wissen und diejenigen Wissenschaften auszuwählen und zu verbreiten, die in jener Zeit als relevant und mehr und mehr auch als systemrelevant erachtet wurden. Mit den Bildvergleichen wollen wir argumentieren, dass darüber hinaus gerade bei den so nüchtern wirkenden Hochschulfilmen der RfdU, die Faszination und Emotion, die diese Filme evozieren, mit in die historische Bewertung der Institution einfließen sollten. Auch wenn sich der auf Beherrschung ausgerichtete politische Massenkult des Nationalsozialismus anhand von Symbolen oder Propagandaveranstaltungen einfacher erfassen lässt, sollte die visuell-ästhetische Analyse der faschistischen Herrschaftspraktiken nicht bei den vermeintlich unpolitischen wissenschaftlichen Bildern und Lehrmitteln stoppen. Es sei hier an Caselmanns Medienpädagogik und seine Forderung erinnert, dass die Unterrichtsfilme »nicht nur im Hirn« wohnen, sondern »den ganzen Menschen erfassen« sollen. Es ging darum, die Sinne zu erbeuten und die Sinne für die gewünschten Bewegungen zu sensibilisieren – auch im Hörsaal, auch mit wissenschaftlichen Bildern und Filmen. Was für den rationalen Ingenieur und Wissenschaftler Prandtl gerade keine explizite Kategorie sein konnte, wird an den Wiederverwendungen des Films deutlich.

Es gibt Berichte, dass 1945 acht Millionen Meter Filmmaterial der RWU entweder verbrannten oder als Kriegsbeute beschlagnahmt worden waren.¹⁶² Die Gefahr der Entflammbarkeit war eine bekannte: Bereits kurz nach Kriegsbeginn wurden die Abteilungsleiter und Referenten angewiesen, Schnittreste

¹⁶¹ Von Moltke, »Ästhetisierung der Politik« (2020), S. 58.

¹⁶² Tolle, *Reichsanstalt* (1961), S. 88.

und nicht mehr benötigtes Material an Nitratfilm, »Explosivfilm«, sofort zu beseitigen. Alle restlichen Normalfilme müssen »aus dem Hause geschafft werden«. Lavendeldups, Originale, Arbeits- und Musterkopien – kurz: alles – dürfe in Zukunft nur noch auf Sicherheitsfilm angenommen werden.¹⁶³ Noch knapp vor Kriegsende wurde dann offenbar versucht, das außerhalb des Hauses gelagerte Explosivmaterial aus Berlin wegzuschaffen. Der Waggon mit den Original-Negativen sei dabei durch »Feindeinwirkung« zerstört worden und mit ihm das Material – oder es ging verloren.¹⁶⁴ Ebenso wurde das Gebäude der RWU an der Kleiststraße 10–12 in Berlin zerstört. Auch das Ausgangsmaterial des Strömungsfilms ging verloren oder wurde zerstört.

163 Anonym, »Dringend: Rundschreiben 51/40 an die Herren Abteilungsleiter und Referenten«, 13. 9. 1940, BArch R/169/10.

164 »[...] kommt noch hinzu, daß bei der Verlagerung des Materials aus Berlin der Waggon mit den Original-Negativen durch Feindeinwirkung in Totalverlust geriet. Aus diesem Grunde war das Göttinger Institut gezwungen, erhebliche Mittel aufzuwenden, um das Material wiederherzurichten und auf diese Weise überhaupt für die Hochschulen nutzbar zu machen.« (Beyer vom IWF an Tolle, 4. 12. 1957, BArch R/169/20.)

Kapitel 5

Forschungsfilm, 1940–1956



Abb. 5.1: Vor- und Abspann der digitalisierten 16mm-Version von C 1 aus Prandtls Nachlass.

Die Strömungsfilme behielten auch nach dem Krieg ihre Führungsrolle als erste Filme im Medienkatalog. Ebenso blieben die Nachbarschaften zu anderen Filmen mehrheitlich dieselben. Auch an den Filmen selbst änderte sich nur wenig. Neu war die serifenlose Schriftart der Zwischentitel, auf denen jetzt von der »Filmkamera« statt vom »Kinoapparat« die Rede war. Bei den Grafiken auf den Zwischentiteln änderte sich nur die Form des Pfeils – eine äußerst dezente grafische Modernisierung, mehr nicht. Der hauptsächliche Eingriff bestand darin, die paar Meter Zelluloid mit den RfdU- oder RWU-Logos, die die Filme über zehn Jahre eingeführt hatten, in der Nachkriegszeit zu ersetzen. In den 1950er Jahren erhielten die Strömungsfilme schließlich jenen (immer noch sehr ähnlichen) Vorspann, den sie bis heute als Digitalisate auf dem AV-Portal der Technischen Informationsbibliothek Hannover, kurz TIB, tragen: Ein weißer Kreis umgab nun die Buchstaben IWF, die für das Institut für den Wissenschaftlichen Film standen (Abb. 5.1). Nicht mehr Reich, wie das »R« im Vorspann zur Zeit des Nationalsozialismus implizierte, sondern institutionalisierte Wissenschaft war der Bedeutungshof des neuen Vorspanns.

Das IWF war die Nachfolgeinstitution der Hochschulabteilung respektive der Geheimabteilung Technischer Forschungsfilm der RWU. Es etablierte sich als bundesrepublikanisches Vorzeigeeinstitut für die Produktion und den Vertrieb von Forschungsfilmen, also Filmen aus Forschungskontexten

von Forschenden für Forschende und Studierende. Es blieb in seiner Größe und seinen Ambitionen international vergleichslos und prägte daher im 20. Jahrhundert maßgeblich die Vorstellung davon, was wissenschaftlicher Film ist und wie er institutionalisiert werden konnte. Den Strömungsfilmen wiederum sicherte das IWF die nationale und internationale Distribution und Zirkulation über den Tod Prandtls hinaus. Zahlreiche Wiederverwendungen des Strömungsfilms gehen auf die IWF-Version zurück.

In diesem Kapitel werden wir die Prozesse nachzeichnen, die den Strömungsfilmen im Besonderen und vielen wissenschaftlichen Filmen aus der Zeit des Nationalsozialismus im Allgemeinen eine Weiterverwendung in der Bundesrepublik sicherten. Dabei widmen wir uns sowohl der konkreten Bewegung der Filmmaterialien als auch den politisch-institutionellen Prozessen, die die Umwertung der Filme ermöglichten: der Entnazifizierung und Entmilitarisierung des Rfdu-/RWU-Bestands durch die Alliierten, dem Wiederaufbau der deutschen Filmforschung und dem Anschluss des IWF an die International Scientific Film Association. Zudem befassen wir uns mit einem Vorzeigeprojekt des IWF, das bis heute das Verständnis von Forschungsfilm im deutschsprachigen Raum prägt und belastet: der *Encyclopaedia Cinematographica*, die sich der Erfassung der organischen und anorganischen Welt auf Zelluloid verschrieben hatte.

Die Bewegungen des Strömungsfilms über die Zäsuren von 1945 und 1949 hinweg scheinen im Sinne einer *Liquid History* vergleichbar mit einer Strömungsbewegung. Während Verwirbelungen, also die stetigen Veränderungen der Bewegung, der Normalfall sind, muss das Laminare, die gleichgerichtete Bewegung, mühsam und unter großem Aufwand hergestellt werden. Der Strömungsfilm jedenfalls floss weiter, zur Sammlung kamen weitere Filme hinzu, und bald schon ward vergessen, wo der Fluss und dessen Inhalte eigentlich herkamen.

Visuelle Entnazifizierung und Entmilitarisierung: 14 zensierte Filme

In Bezug auf den wissenschaftlichen Film lässt sich konstatieren, was die historische Forschung für verschiedenste gesellschaftliche Bereiche nachgezeichnet und der Filmwissenschaftler Peter Zimmermann für den Film im Allgemeinen festgestellt hat: »Die Stunde Null gab es in der Nachkriegszeit auch im deutschen Film nicht.«¹ Die nationalsozialistische Vergangenheit,

¹ Peter Zimmermann, »Kontinuitäten und Wandlungen im Zeichen von ›Entnazifizierung‹ und ›Reeducation‹«, in: Ders., Kay Hoffmann (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in*

in dem Fall in Form von Hochschulunterrichtsfilmen, war keineswegs einfach verschwunden, der rasche Erfolg deutscher Forschungsinstitutionen wie dem IWF nach dem Krieg baute nicht auf dem Nichts auf. So wenig überraschend die Kontinuität der Filmsammlung der RWU und mit ihr die des Strömungsfilms hinein in die Nachkriegszeit und darüber hinaus aus historischer Perspektive sein mag, so wenig selbstverständlich war sie. Denn gleichzeitig ist auch ein gegenteiliger Befund möglich: Die RWU-Vorspanne wurden aufs Gründlichste ersetzt – so gründlich, dass wir nur jeweils eine Kopie von C 1 und C 2 mit altem RWU-Vorspann ausfindig machen konnten.² Die Kontinuität war somit nicht einfach gegeben, sondern mit allerlei Mitteln von den verantwortlichen Personen, allen voran von Gotthard Wolf, hergestellt. Um das neue Zentralinstitut für wissenschaftliche Filme aufbauen zu können, benötigte Wolf eine Filmsammlung. Dabei kam ihm die nur oberflächliche Entnazifizierung und Entmilitarisierung der Filmsammlung, die je nach Zone verschieden vonstatten ging, entgegen.

Die britische Besatzungsmacht strebte offensiv sowohl die Reorganisation als auch die Revision der Institution an. Captain Gregory Buckland-Smith, Mitglied der britischen Kontrollkommission für Deutschland und verantwortlich für den ersten umfassenden Nachkriegsbericht über die RWU, stellte fest: »purged of all Nazi and militaristic material [...] [the RWU] could be re-established«.³ Mit diesem Verdikt einher gingen die Bemühungen, Filme wie Institution – zumindest prima facie – zu entnazifizieren und zu entmilitarisieren. Dabei zeigt sich einmal mehr, dass die Filmsammlung offenbar als eine äußerst wertvolle Ressource angesehen wurde. Das British Film Institute (BFI) prüfte jeden einzelnen der Filme, die für die allgemeinbildende Schule vorgesehen waren (also exklusive der Hochschulfilme und damit auch exklusive C 1 und C 2), um »those of teaching value« von denen zu trennen, die »any trace of Nazi doctrine« aufweisen würden.⁴ Auftraggeber der Prüfung war das Audio-Visual Aids

Deutschland, Bd. 3, »Drittes Reich« 1933–1945, Stuttgart: Reclam 2005, S. 691–709, hier S. 691; zur Stunde Null vgl. Steffi Hobuß, »Mythos ›Stunde Null‹«, in: Torben Fischer, Matthias N. Lorenz (Hg.), *Lexikon der ›Vergangenheitsbewältigung‹ in Deutschland. Debatten- und Diskursgeschichte des Nationalsozialismus nach 1945*, Bielefeld: transcript 2015, S. 44–45.

² Ein hier nicht zu nennender Freund fand die RWU-Version in einer versteckten Kammer unter den Rängen des zoologischen Hörsaals der Universität in Göttingen, bevor das Zoologische Institut von Grund auf saniert wurde.

³ Zitiert nach Ulf Schmidt, *Medical Films, Ethics and Euthanasia. The History of the Reich Office for Educational Films / Reich Institute for Films in Science and Education*, Husum: Matthiesen Verlag 2002, S. 276.

⁴ A. Photiades, »Foreword. Interim Report on the German Educational Films Now in This

Committee der Conference of Allied Ministers of Education, das von 1942 bis 1945 bestand und als Vorläufer der UNESCO gilt.⁵

Ziel der britischen Prüfung war es festzustellen, welche Lehrmittel zum Wiederaufbau der Bildungssysteme in den befreiten Ländern wieder eingesetzt werden konnten. Geprüft wurden 175 Filme auf deren »Tendentious quality (i. e. how far the subject, material and approach were free from Nazi propaganda tendencies)«. 13 % der Filme wurde als tendenziös eingestuft und 10 % enthielten Nazi-Fahnen oder Uniformen, die vor ihrer Weiterverwendung herausgeschnitten werden mussten. Neben dieser visuellen Entnazifizierung bedurfte es auf auditiver Ebene keine Entnazifizierung, da die Filme stumm waren.⁶ In dem Bericht wird allerdings eingeräumt: »It must also be remembered that much of the propaganda value of a film depends on the spoken commentary given by the teacher; the teaching notes provided with the films are more propagandistic in tone than the films themselves.«⁷

Im Unterschied zur britischen Kontrollkommission ließ die Education and Cultural Relations Division in der amerikanischen Zone zusätzlich die B- und C-Filme der Hochschulabteilung und folglich jene Filme sichten und klassifizieren, die in das spätere IWF übergehen sollten. Fast alle C-Filme durchliefen die Zensur durch das Office of Military Government, United States, kurz OMGUS, unbescholten: Nur 14 Filme von mehr als 400 wurden verboten. Einige andere wurden »bedingt zugelassen (mit Änderungen)« oder »zugelassen nach Änderungen (mit neuem Titel)« und konnten entsprechend nach dem Umschnitt wieder in den Vertrieb gelangen.⁸

Country«, zitiert nach Malte Ewert, *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)*, Hamburg: Verlag Dr. Kovač 1998, S. 365.

5 Vgl. Miriam Intrator, *Books Across Borders: UNESCO and the Politics of Postwar Cultural Reconstruction, 1945–1951*, Cham: Palgrave Macmillan 2019; Conference of Allied Ministers of Education in the UNESCO Archives AtoM Catalogue, <https://atom.archives.unesco.org/conference-of-allied-ministers-of-education>, zuletzt besucht am 18. 4. 2025.

6 Stefan-Ludwig Hoffmann verwendet den Begriff der »visual denazification« in Bezug auf Fotografien der Besatzungsmächte von Deutschland und Deutschen in der Nachkriegszeit: Stefan-Ludwig Hoffmann, »Gazing at Ruins«, in: *Journal of Modern European History* 9/3 (2011), S. 328–350, hier S. 342.

7 A. F. Hall, Oliver Bell, Margaret C. Simpson, »Interim Report on the German Educational Films Now in This Country«, in: Ewert, *Die Reichsanstalt* (1998), S. 367.

8 OMGUS, »Vetting Results in re Educational Films Produced by RWU and Other Agencies«, 1. 10. 1948, TIB IWF 12863. Die FWU erhob später den Vorwurf, dass die Besatzungsbehörden das Material beschlagnahmt, bis 1949 ihrer Kontrolle entzogen und aufgrund unsachgemäßer Handhabung und Lagerung beschädigt hätten (Fischer/FWU an Tolle: »Bewertung der vom Institut übernommenen Filme«, 26. 7. 1955, BArch R/169/20).

Die 14 zensierten C-Filme bilden einen Schlüssel zum Verständnis des Entnazifizierungsprozesses wissenschaftlicher Filme.⁹ Einer internen Korrespondenz des baldigen IWF ist zu entnehmen, welche Kriterien dabei zentral waren: »Hitlergruss, Embleme, belastete Autoren, usw.«.¹⁰ Neun der Filme stammen aus dem ethnologischen Bestand von Ludwig Kohl-Larsen, der im Zuge der Entnazifizierung 1946 als »politisch belastet« eingestuft wurde und ein Berufsverbot als Arzt erhielt.¹¹ Die Zensur seiner Filme lässt sich auf ihn als »belasteter Autor« zurückführen – ein Zensurgrund, der die Strömungsfilme nicht betraf, da Prandtl nicht als belastet galt. Drei der Filme – eine Serie über die *Blaufelchenfischerei am Bodensee*, ebenso aus dem ethnologischen Bestand – tauchen in aktuelleren Listen zum Filmbestand nicht mehr auf.¹² Über ihre Zensur lässt sich nur spekulieren. Da ihre Signaturen auf eine Veröffentlichung in den 1940er Jahren schließen lassen, scheinen nazistische Embleme und Gesten als der wahrscheinlichste Zensurgrund.¹³ Auch diese Entnazifizierungskriterien betrafen die Strömungsfilme nicht: Die offizielle Entnazifizierung zielte zwar auf Symbole, nicht aber Ästhetiken ab, wie wir sie im vierten Kapitel diskutiert haben.

Die letzten zwei Filme stammen – gleich den Strömungsfilmen – aus der Sektion Technische Wissenschaften: C 142 *Beschuß von Drähten und Panzerplatten* (1937) und C 229 *Dum-Dum-Wirkung* (1938), beide von dem Ballistiker Hubert Schardin. Weder galt Schardin als belasteter Autor, noch wurden alle Filme von ihm zensiert: C 433 *Der Bruchvorgang im Glas* (1944) verblieb im Katalog und sollte später sogar in die *Encyclopaedia Cinematographica* übergehen. Ebenso enthalten diese Filme keine problematischen Embleme

9 Gemäß einer anderen Liste wurden zwei Filme mehr zensiert: C 96 *Ballistische Untersuchungen* und C 225 *Der Leonhardiritt in Tölz*, vgl. Kraemer an Wolf, 12. 4. 1948, TIB IWF 16083.

10 Interne Korrespondenz, Göttinger Institut, 1950, TIB IWF 12485.

11 Ludwig Kohl-Larsen ist vor 1933 der NSDAP beigetreten, war SA-Sanitätsoberführer und seine Forschungen waren rassistisch informiert. 1949 wurde er, nachdem er verschiedene Gutachten von Fachkollegen vorgelegt hatte, als »Mitläufer« eingestuft, vgl. Hans Fischer, *Völkerkunde im Nationalsozialismus. Aspekte der Anpassung, Affinität und Behauptung einer wissenschaftlichen Disziplin*, Berlin: Dietrich Reimer 1990; Erich Renner, »Ludwig Kohl-Larsen – zur Frage von Schuld und Sühne«, in: Bernhard Streck (Hg.), *Ethnologie und Nationalsozialismus*, Gehen: Escher 2000, S. 115–125.

12 Eine Arbeitsgemeinschaft der Landesbildstellen erstellte 1995 eine Liste mit den RWU-Filmbeständen und filmbegleitenden Unterlagen des Bundesarchivs und der verschiedenen Landesbild- resp. Landesmedizinstellen.

13 So berichtet Michael Kühn von Filmen, in denen Fahnen mit Hakenkreuzen und Hitlergrüßen dermaßen beschnitten werden mussten, dass sie die Hälfte an Länge einbüßten, vgl. Michael Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus. Die Arbeit der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm/Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*, Mammendorf: septem artes Verlag 1998, hier S. 240.

oder Grüße – keiner der technischen Filme tut das. Doch die Filme geben uns einen Hinweis auf einen weiteren Zensurgrund. Höchst wahrscheinlich wurden sie aus dem Katalog entfernt, weil ihre Titel auf eine militärische Anwendung schließen ließen.¹⁴ Das deckt sich mit den Aussagen von Zeitgenoss:innen wie Rosemarie Kraemer, ehemalige Hilfsreferentin der RWU und ab 1946 Leiterin des Instituts für den Unterrichtsfilm (IfdU) in München. In der amerikanischen und britischen Zone seien die Produktionen nicht nur auf Nazisymbole und Propaganda sowie Wiederverwendbarkeit hin geprüft worden, sondern auch militaristische Filme sollten aussortiert werden.¹⁵ *Dum-Dum-Wirkung* und *Beschuß von Drähten* wurden im Zuge dieser Entmilitarisierung zensiert. *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen* hingegen verblieb im Medienkatalog, obwohl die Aerodynamik zu den durch das Kontrollratsgesetz 25 verbotenen Arbeitsgebieten zählte.¹⁶ All das weist darauf hin, dass im Falle der technischen Filme bloß die Filmtitel, nicht aber deren Inhalte geprüft wurden. Von einer visuellen Entnazifizierung oder Entmilitarisierung kann hier nicht die Rede sein. Das Visuelle blieb ungesehen, unbeachtet und konnte entsprechend unbescholten bleiben.

Von der Geheimabteilung Technischer Forschungsfilm zum Institut für den Wissenschaftlichen Film

Neben der politischen Rehabilitation der Filmsammlung bedurfte es zudem organisatorischer Anstrengungen zur (Neu-)Gründung des Instituts. Während Deutschland noch größtenteils in Trümmern lag, lief der Wiederaufbau der wissenschaftlichen Forschungsinstitute bereits auf Hochtouren. Die Bunsenstraße 10 gehörte nach dem Krieg zu den Zentren der Reorganisation der deutschen Forschung. Die Gebäude der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, dessen Leiter Prandtl war, beherbergten nach dem Krieg viele der neu gegründeten Institute der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), ehemals Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, als auch Teile von deren Generalverwaltung. Ab 1949 (bis 1960)

¹⁴ Der Film C 96 *Ballistische Untersuchungen* (1937, Joachim Kömmnick) fehlt in der Liste und wurde entsprechend nicht durch OMGUS zensiert.

¹⁵ Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 240.

¹⁶ Manfred Heinemann, »Überwachung und ›Inventur‹ der deutschen Forschung. Das Kontrollratsgesetz Nr. 25 und die alliierte Forschungskontrolle im Bereich der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft (KWG/MPG) 1945–1955«, in: Lothar Mertens (Hg.), *Politischer Systemumbruch als irreversibler Faktor von Modernisierung in der Wissenschaft?*, Berlin: Duncker & Humblot 2001, S. 167–199.

hatte bemerkenswerterweise auch die Hochschul- und Forschungsabteilung des Instituts für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (FWU), die später zum Institut für den Wissenschaftlichen Film werden wird, ihren Sitz in der Bunsenstraße.¹⁷ Das im Entstehen befindliche neue deutsche Zentrum für die Archivierung und Distribution wissenschaftlicher Filme zog somit in direkte Nähe zu den Instituten Prandtls, deren Windkanäle bereits durch die britische Besatzungsmacht demontiert worden waren. Die Strömungsfilmbehalter behielten als C 1 und C 2 nicht einfach ihre taxonomische Führungsposition, sondern führten neu vom Ort ihrer Entstehung aus den Medienkatalog der Hochschulfilme an.

Wie kam es dazu, dass das baldige IWF in direkter Nachbarschaft zur neuen nationalen Spitzenforschung domiziliert wurde? Die institutionelle Vorgeschichte des IWF respektive die Geschichte der RWU nach 1945 ist vertrackt. Nach Kriegsende wurde die nationalsozialistische RWU aufgelöst. Daraufhin wurden zwei Institute gegründet: 1945 das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (FWU) in Hamburg mit Tätigkeiten ebenso in Hannover (britische Zone) als GmbH mit den Ländern als Gesellschafter,¹⁸ und 1946 das Institut für den Unterrichtsfilm (IfdU) in München (amerikanische Zone). Infolge der späteren Vereinigung der drei westlichen Besatzungszonen zur Trizone gingen beide Institute 1950 im FWU mit Sitz in München auf.¹⁹ Das FWU oder »Medieninstitut der Länder« existiert bis heute in Grünwald bei München. Es baut Bildungsinfrastrukturen an Schulen auf und produziert Filme für den schulischen wie außerschulischen Bereich.

Gotthard Wolfs Abteilung Hochschule und Forschung der FWU – auch Abteilung technischer Forschungsfilm oder Abteilung Wissenschaftsfilm genannt –, befand sich zunächst ausgegliedert in einem Kloostergut bei Höckelheim, einem Dorf 20 Kilometer vor Göttingen. Diese »Keimzelle des IWF«, wie der ehemalige IWF-Mitarbeiter Werner Große sie später nannte,²⁰ war wiederum der direkte Nachfolger des geheimen Sonderreferats Technischer Forschungsfilm (TF) unter der Leitung Wolfs.²¹ Beinahe alle

17 Eckart Henning, Marion Kazemi, *Handbuch zur Institutsgeschichte der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften 1911–2011: Daten und Quellen II/1*, Berlin: Max-Planck-Gesellschaft 2016, S. 38–39.

18 Vgl. Anonym, »Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht GmbH, Hamburg«, 23. 11. 1948, AMPG II/102/207/2.

19 Werner Große, *Filme für die Wissenschaft – Die Epoche des Wissenschaftlichen Films in Göttingen*, Göttingen: Buchverlag Göttinger Tageblatt 2012, S. 7–9.

20 Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 7.

21 Mehr dazu vgl. Sarine Waltenspül, »Reusable and Nonreusable Films: From Ballistic Films

geschriebenen Beweise über die Arbeit dieser Geheimabteilung wurden auf Befehl hin vor Ende des Krieges zerstört.²² Die wenigen überlieferten Archivalien dazu lassen darauf schließen, dass die Abteilung TF der industriellen Kriegsforschung diente und mittels Film »wehrwichtige« Untersuchungen tätigte. Es waren neben diversen Messungen für das Oberkommando des Heeres auch Filmvorhaben geplant, die auf eine Erforschung von Gas als Waffe hinweisen, wie »Wärmeströmung und Entlüftung in kleinen Räumen« oder die »Wirkungsweise der Kampfstoffe und ihrer Abwehrstoffe auf die Hautgewebe«.²³ Der Interpretationsspielraum für diese Titel ist groß. Er reicht vom Schutz der Bevölkerung bei Gasangriffen bis hin zum Einsatz von Gas als Vernichtungsmittel in der Shoah. Auch wenn sich vieles nicht mehr rekonstruieren lässt, so steht fest, dass der mit dem Kriegsverdienstkreuz 1. Klasse dekorierte Wolf²⁴ die Kriegsjahre damit verbracht hat, Filme in den Dienst der Kriegsforschung zu stellen. Standen die Filmvorhaben tatsächlich in Zusammenhang mit der Erforschung oder Erprobung von Gas als Waffe, so wäre daraus zu folgern, dass Wolf und seine Abteilung nicht nur indirekt, sondern direkt zum antisemitischen Vernichtungskrieg beigetragen haben.

Wolfs Abteilung wurde durch die britische Militärregierung kontrolliert und erhielt noch im September 1945 eine Arbeitserlaubnis. Zu den Aufgaben zählten laut Wolf zunächst die Optimierung landwirtschaftlicher Fahrzeuge und die Herstellung von Unterrichtsfilmen zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers und folglich zur »Verminderung der Ernährungsschwierigkeiten«.²⁵ Doch Wolf wollte der »dörflichen Unterkunft« in Höckelheim so schnell wie möglich entkommen und in »geeignete Institutsräume« umziehen. Er bemühte sich daher bereits 1945 mit Hilfe des bereits erwähnten RWU-Vorsitzenden Kurt Zierold, der später Generalsekretär der DFG werden sollte, bei Ernst Telschow, Generalsekretär der MPG und der ehemaligen KWG, um eine enge Zusammenarbeit.²⁶ Ziel der Absprachen zwischen Wolf, Zierold und Telschow war die »Errichtung eines Instituts für wissen-

to the Encyclopaedia Cinematographica«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 342–351; Sarine Waltenspül, »Geschichtsvergessene Digitalisierung. Nationalsozialistische Provenienzen wissenschaftlich-technischer Filme aus der Sammlung des IWF«, in: *Technikgeschichte* 91/2 (2024), S. 139–174.

22 Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 280.

23 Anonym, »Die wehrwichtigen Forschungsfilmaufgaben der RfU«, 1. 11. 1939, AMPG, I/1A/1043.

24 Anonym, »Zwischenbericht der Abteilung I für die Zeit vom 1. 4.–30. 9. 1944«, BArch R/169/10.

25 Wolf an Colonel Read, 7. 12. 1945, AMPG II/102/207/2.

26 Wolf an Telschow, 2. 10. 1945 und 25. 10. 1945, AMPG II/102/207/2.

schaftliche Kinematographie im Rahmen der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften«. Sie ersuchten um die Erlaubnis für ein solches Institut bei OMGUS, um einer ihnen zufolge drohenden »Beeinträchtigung des eigentlichen Forschungsfilms« durch den Schul- und Lehrfilm entgegenzuwirken.²⁷

Die Bestrebungen zielten darauf ab, dass die Abteilung unabhängig werden sollte. Die ehemalige Rfdu/RWU, dann IfdU/FWU, dann FWU kümmernten sich um drei Einsatzbereiche von Film: Unterrichtsfilm, Hochschulfilm und Forschungsfilm. Nun sollten die beiden letzten Bereiche in einem eigenen Institut aufgehen, das Filme von Wissenschaftler:innen für (angehende) Wissenschaftler:innen erstellen und vertreiben sollte. Diese Profilierung war auch der Abgrenzung den anderen Institutionen gegenüber dienlich. Der Plan umfasste zwei konkrete Schritte: In einem ersten sollte Wolfs Gruppe zur Miete auf dem Gelände der AVA unterkommen (einem Umzug nach Hamburg verwehrte er sich)²⁸ und in einem zweiten in die MPG eingegliedert werden. Der Präsident der MPG, Otto Hahn, sprach sich 1949 zwar für den ersten Schritt, aber gegen finanzielle Zuschüsse seitens der MPG aus.²⁹ Richtiggehend Widerstand gegen Wolfs Abteilung gab es seitens der Universität Göttingen: Der Physiker Robert Wichard Pohl hätte laut Telschow im Namen der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen zum Ausdruck gebracht, dass diese eine »Verlegung [...] nach Göttingen nicht billigen könne«. Und weiter: »Überhaupt würde von seiten der Universität die Arbeiten des Instituts als nicht wertvoll bezeichnet, und man habe nicht die Absicht, von den Arbeiten des Instituts Gebrauch zu machen.« Das Fazit der Universität war, dass von einer Aufnahme in die MPG abgeraten würde.³⁰ Wohl aufgrund dieser Kritik sprach sich der wissenschaftliche Rat der MPG schließlich gegen eine Aufnahme in die MPG aus, auch wenn offiziell kein Antrag gestellt worden war. Ebenso soll »der äußere Schein vermieden werden«, dass die Abteilung zur MPG gehören würde.³¹

27 Telschow an Carl H. Nordstrom/OMGUS Berlin, »Betrifft: Übernahme bzw. Errichtung eines Instituts für wissenschaftliche Kinematographie im Rahmen der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften«, 23. 4. 1948, AMPG II/102/207/2.

28 Wolf an Schmid »Verlagerung der Abteilung Hochschule und Forschung nach Hamburg«, 7. 3. 1946, TIB IWF HU 1945-47.

29 Hahn, 27. 1. 1949, AMPG II/102/207/2.

30 Telschow, Aktenvermerk, 14. 6. 1949, AMPG II/102/207/2.

31 Auszug aus der Niederschrift über die Sitzung des wissenschaftlichen Rates: »Stellung des Instituts für Film und Bild in Beziehung zur Max-Planck-Gesellschaft«, 21. 7. 1949, AMPG II/102/207/2.

Nichtsdestotrotz zog Wolfs Abteilung für Hochschule und Forschung 1949 nach Verhandlungen mit dem Münchener Dachinstitut nach Göttingen auf das Gelände der AVA, gemäß Mietvertrag in das Haus 18 – die ehemalige Bildstelle der AVA – und Haus 6.³² Damit war die Trennung des Lehrfilms, der potenziell als ideologisch behaftet galt, vom angeblich ideologiefreien Hochschul- und Forschungsfilm besiegelt.

Wiederbeschaffung und Aufbau der Sammlung: materiell-visuelles Wissen als Ressource

Neben der visuellen Entnazifizierung und der nationalen Profilierung war auf ganz materieller Ebene auch die Aufstockung der Filmsammlung nötig, um ein Institut wie das IWF überhaupt möglich zu machen. 1951 lautete das formulierte Ziel des Prä-IWF, das damals noch Abteilung für Hochschule und Forschung hieß: »dass wir unbedingt unsere Archive wieder auffüllen müssen.«³³ Für den Aufbau eines Vertriebssystems war die Herstellung von Verkaufs- und Verleihkopien unerlässlich. Bereits davor war ein – in Feindseligkeiten mündender – Wettlauf zwischen den Instituten der verschiedenen Zonen entstanden. Alle wollten das Ausgangsmaterial, von dem die besten Kopien gezogen werden konnten. Noch mehr als bei anderen zirkulierenden Wissensmedien, die reproduziert werden können (wie Bilder, Grafiken, etc.), spielt bei Film die Qualität des Ausgangsmaterials sowie die Nähe zu diesem eine ausschlaggebende Rolle. Die Qualität hängt wiederum von der Materialität und dem Format ab. Entsprechend musste nicht nur das Ausgangsmaterial für Filme wiederbeschafft werden, die verbrannt, zerstört oder verloren gegangen sind, sondern auch von denen, die in einer Qualität respektive Materialität vorlagen, die es nicht erlaubte, genug gute Kopien zu ziehen.

Aufgrund des Ausnahmezustands der Nachkriegsjahre, der zonal komplexen Institutssituation, wie auch der unterschiedlichen Interessen der involvierten Akteur:innen sind diese Prozesse nicht nur aus heutiger Perspektive schwer nachzuvollziehen, sondern waren auch damals unübersichtlich. Diese Unübersichtlichkeit wusste Wolf für seine Absichten des Institutsaufbaus nutzbar zu machen. Eine eher harmlose Strategie Wolfs zum Wiederaufbau

32 Mietvertrag zwischen der MPG und der FWU/Hamburg 1949, AMPG II/102/207/2; Ewert, *Die Reichsanstalt* (1998), S. 233–235; Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 235–238; Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 275–284.

33 Mohaupt an Schulze, 8. 1. 1951, TIB IWF 16083.

der Filmsammlung beschreibt Schmidt: »In order to gain control over scientific films, Wolf borrowed high-school films from the IfdU in Munich, but never returned them«. ³⁴ Eine weitere Strategien bestand in der Beschaffung der Filme direkt bei den Filmautoren, wie im Falle von Prandtl. Die Geschichte von C 1 und C 2 gibt dabei Aufschluss über Wolfs Steigerungslogik bezüglich der Qualität der Filme. Wir wissen, dass C 1 und C 2 Wolf nach dem Krieg als Schmalfilmkopien vorlagen, teilweise mit fehlenden Zwischentiteln. Spätestens ab 1950 besaß er C 1 als Normalfilm-Lavendelkopie und als Normalfilm-Dup-Negativ. ³⁵ Entsprechend besaß er das Ausgangsmaterial für die im optischen Verkleinerungsverfahren erstellten 16mm-Verleihkopien. Im selben Jahr trafen auch Bestellungen zu beiden Filmen aus dem Ausland ein. ³⁶ Bei Bavaria falsch bestellte oder falsch zugestellte Kopien gingen zwischen Göttingen und München hin und her. Ab 1950 wurde der Film C 2 bei Bestellungen »nach neuer Norm« mit dem FWU-Logo/Siegel als Vorspann versehen. ³⁷ Spätestens in demselben Jahr wurde der Vertrieb von C 1 und C 2 wieder aufgenommen und die Filme konnten für je 53 DM gekauft respektive für 7 DM pro Woche ausgeliehen werden. ³⁸

Trotzdem kontaktierte Gotthard Wolf 1952 Ludwig Prandtl. Der 78-jährige Prandtl, der seinen Forschungsschwerpunkt nach dem Krieg weitgehend auf die (unpolitische) Meteorologie verlegt hatte, sollte ein Jahr darauf sterben. Wolf schrieb aus der Bunsenstraße 10 in Göttingen an Prandtl in die Bunsenstraße 10 in Göttingen. Er bedankte sich bei Prandtl für die Aushändigung der Originalnegative der Hochschulunterrichtsfilme C 1 und C 2 durch W. Müller, der gemeinsam mit Prandtl den Film C 2 erstellt hatte. Sein neuerliches Interesse an den Filmen erläuterte Wolf damit, dass Prandtls Filme »noch immer zu den meistgefragtesten Unterrichtsfilmen überhaupt« gehören würden. Leider sei das »Ausgangsmaterial der beiden Filme [...]

34 Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 280.

35 Anonym, »Aufstellung des vorhandenen Ausgangsmaterials folgender Filme«, 10. 11. 1950, TIB IWF 16083. Dies vermutlich, da das Münchener Institut die in München befindlichen Lagerkopien nach Göttingen übergeben hatte, vgl. Schulze an Wolf, 17. 10. 1950, TIB IWF 16083.

36 Anonym, »Kopienpreise für Auslandslieferungen«, 13. 2. 1950, TIB IWF 16083.

37 Anonym, »Kopienbestellung«, 13. 4. 1950, TIB IWF 16083. Auch wenn die Siegel bei den Filmen gründlich ersetzt wurden, wurde mit den Begleitpublikationen anders verfahren. Sie trugen weiterhin die Rfdu/RWU als Herausgeberin in der Kopfzeile und tun es bis heute. Gewisse andere Begleitpublikationen erhielten einen »Sperrvermerk«, wurden ersetzt oder es wurden einzelne Passagen in jedem Exemplar per Hand geschwärzt, vgl. Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 241.

38 TIB IWF Kataloge. Ein Jahr später musste der Verkauf kurzzeitig eingestellt werden, was auf die Knappheit an 16mm-Rohfilmmaterial zurückgeführt werden kann, vgl. Mohaupt an Schulze, 14. 6. 1951, TIB IWF 16083.

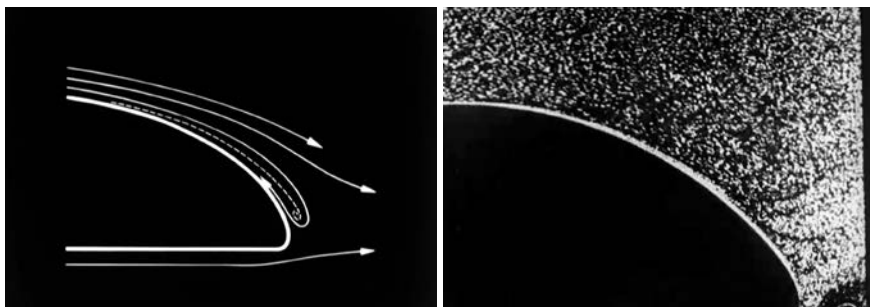


Abb. 5.2: In der IWF-Version wurden Bildbereiche beschnitten, so fehlt die Strömung unterhalb des konkaven Körpers, der in der Aerodynamik auch Bluff-Body genannt wird.

durch Kriegseinwirkung zum Teil abhandengekommen und der verbleibende Rest so stark beschädigt« worden, dass ohne die Hilfe von Müller und Wolf es nicht möglich gewesen wäre, das Material zu rekonstruieren. Zum Dank schickte er Prandtl zusätzlich zu den Originalnegativen auch neu gezogene Schmalfilmkopien von C 1 und C 2.³⁹

Wieso beschaffte Wolf die Originalnegative, obwohl ihm das 35mm-Lavendelmateriale vorlag? War es so stark beschädigt? Oder ging es – im Sinne einer Steigerungslogik – darum, noch besseres Material zu erhalten, um sich den anderen Instituten gegenüber zu profilieren? Bemerkenswert an Wolfs Anfrage ist insbesondere die Tatsache, dass das IWF fortan keine qualitativ hochwertige Version von C 1 zirkulierte, sondern eine, die verglichen mit allen anderen uns bekannten Versionen die schlechteste überhaupt darstellt. So ist beispielsweise der Bildbereich unter dem konkaven Körper abgeschnitten (Abb. 5.2), obwohl er in den Zeichnungen angekündigt wird. Auch die Bildqualität weist einige Mängel auf. Die Kontraste erscheinen übersteuert, die hellen Bildbereiche und folglich die Partikel undifferenziert. Es ist schwer vorstellbar, dass Wolf ab Prandtls Originalnegativen eine dermaßen schlechte Kopie gezogen haben konnte. Eine solche Version befindet sich mitunter im Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, wobei es sich sehr wahrscheinlich um die Kopie, die Wolf Prandtl zugestellt hatte, handelt.⁴⁰ Die gleiche Version des Films ist mit dem Bestand des IWF an die TIB übergegangen und wurde dort online auf dem AV-Portal veröffentlicht.

³⁹ Wolf an Prandtl, 7.6.1952, AMPG III/61/739.

⁴⁰ Die 16mm-Kopie wird in der AMPG unter der Signatur VII/1/F 186 4 geführt. Sie stammt aus dem Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen, Nachfolgeinstitution des von Prandtl gegründeten KWI für Strömungsforschung.



Abb. 5.3: In den Archivbeständen des IWF befinden sich Filme, die aus der NS-Zeit stammen und die offensichtlich im IWF genutzt wurden. Die Hakenkreuze wurden von den Verleihschachteln gekratzt.

Die Vorgeschichte des IWF zeigt, wie vergänglich viele der getätigten Bemühungen zum Bruch mit der Vergangenheit waren, und wie gleichzeitig die Mühen zur Herstellung einer Kontinuität der Sammlung von Erfolg gekrönt waren. Die zensierten Filme wurden mehrheitlich wieder in den IWF-Katalog aufgenommen, die Vorspanne ersetzt, die Hakenkreuze von den Verleihschachteln gekratzt (Abb. 5.3). Zudem gab es Filme, die der offiziellen Entnazifizierung entgingen, weil Wolf sie davor schützte. So schlug er 1947 dem Direktor des FWU in Hamburg, Fridolin Schmid, vor, die Namen belasteter Autoren zu tilgen:

Die Frage ist aus dem Grunde besonders kompliziert, weil sicher eine beträchtliche Anzahl unserer Filme Professoren als Autoren haben, die jetzt wegen ihrer politischen Einstellung nicht mehr im Amt sind. Es wäre ein ausserordentlicher Verlust, wenn alle diese Filme im Unterricht nicht mehr eingesetzt werden dürften. Vielleicht müsste in einzelnen Fällen von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, die Namen der Sachbearbeiter nicht mehr in Erscheinung treten zu lassen, sondern nur noch das Institut, aus dem sie stammen.⁴¹

Dies betraf unter anderem Paul Rostock, im Nationalsozialismus Leiter des Amtes für Medizinische Wissenschaft und Forschung und Stellvertreter von

⁴¹ Wolf an Schmid, 11. 1. 1947, TIB IWF 12848.

Karl Brandt, der wiederum als »Hitlers Arzt« bekannt wurde. Rostock war als Generalkommissar für das Sanitäts- und Gesundheitswesen an diversen Versuchen an Kriegsgefangenen und KZ-Inhaftierten beteiligt. Er war just zum Zeitpunkt, als Wolf den obigen Brief schrieb, im Nürnberger Ärzteprozess angeklagt, wurde jedoch freigesprochen.⁴² Besonders perfide erscheint, dass Wolf im Brief empfiehlt, seinen Vorschlag, einige Filmautoren aus »politischen« Gründen zu unterschlagen, nicht sofort mit Buckland-Smith zu besprechen. Die Strategie, Namen zu tilgen, wurde bei der RfDU bereits im Nationalsozialismus angewendet. Nur betraf sie 1938/39 jüdische Filmautor:innen,⁴³ und diesmal Nazis und Kriegsverbrecher. Wolfs eigene und trügerische Entnazifizierungsstrategie ging auf: Die Filme von Paul Rostock tauchten nicht in der OMGUS-Liste auf. Spätestens ab 1951 war der Film C 148 *Naht eines Reißbruchs der Kniescheibe* von Rostock in den Bestellkatalog des Instituts aufgenommen, genauso wie ab 1952 die zuvor zensierten technischen Filme *Dum-Dum-Wirkung* und *Beschuß von Drähten und Panzerplatten* von Schardin.⁴⁴ Andere Bemühungen verpufften: Trotz der Neuabzüge erscheinen die zirkulierenden Kopien von C 1 und C 2 mangelhaft. Es mag sein, dass die politische Rehabilitation der Sammlung schlussendlich doch Vorrang gegenüber der Qualität hatte.

Wissenschaftlicher Film international: das Committee for Scientific Research Film der ISFA

Parallel zu diesen primär national orientierten Strategien zum Aufbau eines Instituts und zur Umwertung der Sammlung war Wolf bemüht, seinem Institut auf internationaler Ebene Einfluss zu sichern. Insbesondere setzte er sich früh dafür ein, Deutschland an die International Scientific Film Association, die ISFA, anzuschließen. Die ISFA wurde 1947 auf dem Kongress des Institut de Cinématographie Scientifique und der Scientific Film Association in Paris mit dem Ziel gegründet, sich mit allen Aspekten des wissenschaftlichen Films zu beschäftigen. Dazu zählten der Informationsaustausch über wissenschaftliche und technische Filme, Methoden der Bewertung sowie

⁴² Vgl. Ernst Klee, *Das Personenlexikon zum Deutschen Reich. Wer war was vor und nach 1945*, Frankfurt a. M.: Fischer 2015 [2003], S. 509.

⁴³ Vgl. Mommsen-Spiess an Schwarz, 22. 7. 1938, BArch R/169/15; Schmidt, *Medical Films* (2002), S. 94.

⁴⁴ Verzeichnis der Hochschul-Unterrichtsfilm, 1. 5. 1951 und Verzeichnis der wissenschaftlichen Filme, Ausgabe Mai und November, TIB IWF.

die Zollbestimmungen für den Austausch von Filmen.⁴⁵ Ab 1948 nahm Wolf als deutscher Vertreter mit *observer*-Status an den Treffen der ISFA teil. Im Vorfeld hatte er mit dem Direktor der FWU, Fridolin Schmid, nach eigenem Bekunden besprochen, dass sich die deutschen Vertreter zwar um eine »Gleichberechtigung der deutschen Belange auf dem Gebiete des wissenschaftlichen Films« bemühen, sich dabei allerdings »zunächst zurückhaltend verhalten sollten«.⁴⁶

Wolf verstand jedoch seine Rolle bei den Kongressen, wie seine Dienstreiseberichte zeigen, nicht als die eines passiven Beobachters, sondern bemühte sich – nach eigenen Angaben mit viel »Fingerspitzengefühl« – um die Gewinnung von Kontakten wie auch an Einfluss innerhalb der ISFA. Bezüglich seines ersten Treffens in London berichtet Wolf von den Schwierigkeiten, Anschluss zu finden: Bis auf den Vertreter aus Österreich sei ihm mit großer Zurückhaltung begegnet worden. Direkte Verhandlungen mit dem französischen Gründer Jean Painlevé, der als amtierender Vizepräsident großen Einfluss innerhalb der ISFA genoss, vermied Wolf. Dies tat er nicht ohne den Hinweis auf Painlevés frühere Probleme mit der Gestapo und seine Aktivität in der Résistance. Wolfs Konflikt bestand nun jedoch darin, dass Frankreich aus zweierlei Gründen ein wichtiger Anknüpfungspunkt für ihn war: Erstens, da die Vertreter der anderen Länder »in ihrer Haltung überwiegend an England und Frankreich orientiert« waren. Zweitens, da Wolfs Ausrichtung auf wissenschaftliche Filme im engeren Sinne dem französischen Fokus auf Forschungs- und Universitätsfilme entsprach. Frankreich lege im Vergleich zu England eine »mehr wissenschaftliche[] Linie und einen streng wissenschaftlichen Maßstab bei der Beurteilung von Filmen« an. In England würde der »Scientific Film« hingegen auch Schulfilme und Industriefilme umfassen.⁴⁷ Wolf schließt seinen Bericht in einer nationalsozialistisch anmutenden Rhetorik mit den Worten: »Darüber hinaus muß als Endziel angestrebt werden, die alte führende Stellung zurückzugewinnen.« Wolfs Bestrebungen standen folglich in eklatantem Widerspruch zu seiner Position als Deutscher mit *observer*-Status innerhalb der ISFA.

Ein Jahr später, am dritten ISFA-Kongress in Brüssel, gründete Wolf gemeinsam mit Otto Storch aus Österreich und Jean Dragesco aus Frankreich

45 Anonym, »International Scientific Film Association«, in: *Nature* 160/601 (1947), S. 601, <https://doi.org/10.1038/160601bo>.

46 Wenn nicht anders vermerkt, stammen alle Zitate in diesem Abschnitt aus: Gotthard Wolf, »Anlage zum Bericht über die Teilnahme am Internationalen Wissenschaftlichen Film-Kongreß und dem Kongreß der British Scientific Film Association über den Forschungsfilm«, 28. 10. 1948, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

47 In einem späteren Bericht von 1949 erklärt Wolf, dass Painlevé eher künstlerisch orientiert sei.

das Permanent Committee for Scientific Research Film, welches ihm zufolge »das wissenschaftliche Rückgrat der ISFA« werden sollte. Der Zoologe Storch wurde zum Präsidenten des Committee ernannt.⁴⁸ Storch hatte sich zuvor mit wissenschaftlichen Forschungsfilmen über die Bewegungen der Extremitäten von Wasserflöhen mittels Hochfrequenzkinematografie sowie weiteren wissenschaftlichen Filmen hervorgetan. Im Dezember 1945 wurde er Leiter des Zoologischen Instituts der Universität Wien, nachdem seine vorherige Forschungskarriere aufgrund der jüdischen Herkunft seiner Frau 1938 vorübergehend beendet worden war.⁴⁹

Wolfs Position innerhalb des Committee ermöglichte es ihm, nach dem unerwarteten Tod Storchs im Jahre 1951, dessen Präsidium zu übernehmen. 1952 wurde Wolf eingeladen, der ISFA als Repräsentant der Bundesrepublik beizutreten. Schon vorher war er tätig geworden, um eine Idee umzusetzen, die schon länger innerhalb der ISFA umhergeisterte: das trilinguale internationale *Bulletin Research Film – Film de Recherche – Forschungsfilm*. Die erste Nummer erschien bereits im November 1952.

Der Politikwissenschaftler Helmut König beschreibt den »Kern des Umgangs mit der personellen Hinterlassenschaft des ›Dritten Reiches‹ in den 1950er Jahren« wie folgt:

Es zählte nicht, was jemand in der Zeit des Nationalsozialismus getan hatte und wie er sich nun zu dieser Vergangenheit verhielt, sondern es zählte nur, was er für die neue Ordnung zu leisten imstande und bereit war und wofür er in seiner Berufsrolle und in der Öffentlichkeit einstand.⁵⁰

Wolfs Engagement für den wissenschaftlichen Film sowie für die Eingliederung der Bundesrepublik in die internationale Gemeinschaft des Wissenschaftsfilms war sein Beitrag zur neuen Ordnung. Die Erfolge seiner Bestrebungen, sich selbst, seinem Institut und der Bundesrepublik eine einflussreiche Position im internationalen Feld des wissenschaftlichen Films zu verschaffen, nutzte Wolf wiederum auf nationaler Ebene für die

48 Gotthard Wolf, »Bericht über die Teilnahme am 3. Internationalen wissenschaftlichen Film-Kongreß in Brüssel in der Zeit vom 30. September bis 5. Oktober 1949«, ohne Datum, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

49 Markus Helmut Lenhart, Birgit Scholz, *NS-Provenienzforschung an der Institutsbibliothek Zoologie der Karl-Franzens-Universität Graz*, Arbeitsbericht Projekt: Provenienzforschung an der UBG II, Graz 2014, S. 16–18, <https://unipub.uni-graz.at/download/pdf/2517166>, zuletzt besucht am 18. 4. 2025.

50 Helmut König, *Die Zukunft der Vergangenheit. Der Nationalsozialismus im politischen Bewusstsein der Bundesrepublik*, Frankfurt a. M.: Fischer 2014 [2003], S. 27.

Unabhängigkeitsbestrebungen und zur eigenen Profilierung. Im Jahre 1953 wurde die Abteilung Hochschule und Forschung in »Institut für den Wissenschaftlichen Film« unter Beibehaltung der rechtlichen Anbindung an die FWU umbenannt.⁵¹ Bereits 1952 hatte sich Wolf in seinen Berichten nicht mehr als »Leiter«, sondern neu als »Direktor« der Abteilung bezeichnet.⁵² Mit der Umbenennung konnte er sich nun Direktor des Instituts für den Wissenschaftlichen Film nennen. Es mögen diese Umstände oder die vielen weiteren Konflikte bei der Zusammenarbeit mit der FWU gewesen sein – wie ungeklärte Verantwortlichkeiten, insbesondere aber die Konkurrenz um finanzielle Mittel und Personal –, die den FWU-Direktor Fridolin Schmid dazu brachten, eine Trennung der beiden Institute vorzuschlagen. Ein Tag vor Weihnachten schreibt er mit »einigem Unbehagen« an Gotthard Wolf:

Ich finde die gegenwärtige Situation hinsichtlich der Verantwortlichkeit und rechtlichen Zuständigkeit der Leiter der beiden Institute München und Göttingen unbefriedigend und unerfreulich. Die notwendige Klarheit fehlt. Ich habe Herrn Dr. Fischer gebeten, diese Klarheit herbeizuführen, bezweifle allerdings, ob dies angesichts des für meine Begriffe reichlich verschwommenen Rechtscharakters des Göttinger Instituts überhaupt möglich sein wird.⁵³

Für eine spannungsfreie Zusammenarbeit könne in Zukunft nur garantiert werden, »wenn für beide zwei völlig getrennte Wege der Finanzierung gefunden werden« und »jede kurzschlußartige Lösung« vermeiden werde.⁵⁴ Es dauerte weitere drei Jahre, bis das IWF 1956 unabhängig wurde. Wolf ließ sich in Göttingen einen eigenen Gebäudekomplex bauen, in den sich seine Erfolge und sein Anspruch architektonisch einschrieben. 1961 zog das IWF in den nach internationalem Stil gebauten Komplex ein, der das »Charakteristikum des IWF, nämlich ein Zentralinstitut zu sein«, auch über seine Architektur auszustrahlen hatte.⁵⁵ Der Gebäudekomplex umfasste einen Hauptbau (mit Büros, Schmalfilmarchiv, Sitzungs- und Vorführsaal sowie Kasino- und Kursraum), einen Aufnahmehallenbau (mit Aufnahmehalle, Tonstudio, Schneideräume und Gerätelager), zwei Laborgebäude (eines für

51 Fischer, »Mitteilung Nr. 1/53«, 18. 5. 1953, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek; vgl. Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 11.

52 Wolf, »Bericht ISFA« (1952).

53 Fridolin Schmid an Gotthard Wolf, 23. 12. 1953, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

54 Ebd.

55 Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 17; vgl. Wolf, 4. 4. 1961, AMPG II/70/1016.

mikrokinematografische Aufnahmen und eines für Hochfrequenzaufnahmen mit Fotolabor und Werkstatt), ein Gewächshaus und ein Nitrofilmlager. Wolf verzichtete anlässlich der Eröffnung des Komplexes nicht darauf, die Wissenschaftlichkeit seines Instituts sowie seinen Kampf um Anerkennung zu betonen:

Das charakteristische Merkmal der neuen Unterkunft des Instituts für den Wissenschaftlichen Film besteht darin, daß hier – in dieser Form wohl erstmalig – versucht wurde, die Erfahrungen neuzeitlicher wissenschaftlicher Filmarbeit mit den Erfahrungen moderner naturwissenschaftlicher Arbeitsstätten zu verbinden.⁵⁶

So erhob Wolf die Architektur zum »sichtbar gewordene[n] Ausdruck dafür, daß das jahrzehntelange Ringen um wissenschaftliche Anerkennung, das neue Teildisziplinen so oft bestehen müssen, nunmehr erfolgreich abgeschlossen werden konnte«. ⁵⁷ Nicht zuletzt gehörte zu dieser Anlage auch eine Villa für den Direktor selbst, von der aus Wolf über den sogenannten »Wolfspfad« ins IWF herunterschreiten konnte.

Mit Film zur Weltgemeinschaft: die Encyclopaedia Cinematographica

Im Prozess der Institutionalisierung des wissenschaftlichen Films in der Bundesrepublik sticht besonders ein Projekt heraus: die *Encyclopaedia Cinematographica*, die Wolf 1952 ins Leben rief. Die EC sollte die Bewegungsprozesse der belebten und unbelebten Welt mithilfe der spezifischen Möglichkeiten der Kinematografie sichtbar, fixierbar und untereinander vergleichbar machen. Unterteilt in »kleinste thematische Einheiten« umfasste die EC – zu dem Zeitpunkt als die Arbeit an ihr 1996 eingestellt wurde – über dreitausend Filme über Tiere, Menschen, Mikroben und Materialien: beginnend mit E 1 *Elephans maximus (L.) Schritt* (1952/54) und endend mit E 3189 *Himba (Südwestafrika, Kaokoland) – Jungen und Mädchen beim Spiel ›Tierehüten‹* (1993/96).⁵⁸ Die Filme waren in die drei disziplinären Sektionen »Biologie« (Zoologie, Botanik, Mikrobiologie), »Technische Wissenschaften« und »Völker- und Volkskunde« unterteilt. Die Vergleichbarkeit der mitunter doch sehr

56 Gotthard Wolf, »Der Neubau des Instituts für den wissenschaftlichen Film in Göttingen«, in: *Research Film, Le Film de Recherche, Forschungsfilm* 4/1 (1961), S. 1–7, hier S. 7.

57 Ebd.

58 Dies gemäß der EC-Filmliste der TIB.

ungleichen Bewegungsprozesse sollte über ein »Enzyklopädie-Schema« nach »Baukastenprinzip« gewährleistet werden. In diesem Schema waren auf horizontaler Ebene die Arten, respektive Materialien, respektive »Volksstämme« oder Regionen und vertikal die Bewegungsarten angeordnet.⁵⁹ Wolf spricht von »filmische[r] Bewegungsdokumentation« und »wissenschaftliche[r] Filmdokumentation«.⁶⁰ Bis in die 1990er Jahre produzierte das IWF EC-Filme, und distribuierte und archivierte sie bis 2010 in Göttingen sowie in weiteren Voll- und Teilarchiven weltweit.

Die EC war ein genauso ambitioniertes wie problematisches Großprojekt visuell-filmischer Forschung. Es verfolgte einen international-kollaborativen und zugleich universalistischen Anspruch. Gemäß Wolf seien dabei »die Kulturstaaten zu gemeinsamen Anstrengungen an einer gemeinsamen Aufgabe aufgerufen«.⁶¹ In dem Vorhaben der EC kondensieren sich Wolfs Begehren, ein Institut von internationaler Bedeutung zu schaffen, sowie seine (in der Kriegsforschung entwickelten) Ideen von Film als Forschungsmittel. Der Strömungsfilm selbst ging zwar nicht direkt in die EC ein, allerdings kann er in seiner Struktur als vorbildgebend für diese verstanden werden.

Die Idee einer Enzyklopädie hatte Wolf von seinem verstorbenen Kollegen Otto Storch übernommen. Die Rolle Storchs wurde bisher in der Geschichte des wissenschaftlichen Films und der EC übersehen, ist allerdings für das Verständnis von dieser zentral. Im Artikel »Das Tierfilm-Museum, eine gebotene Ergänzung des zoologischen Museums«, der 1951 erschienen ist, beschreibt Storch die Erweiterung des zoologischen Museums mit den Mitteln der Kinetographie: Film liefere demonstrative Ergebnisse mit »Ewigkeitswert«.⁶² Die Konsequenz wäre, so Storch, dass sich »der Begriff ›Museum‹ ändern« würde:

Der Ratlosigkeit und Todesstarre, die jetzt auf allen ihren Objekten lastet, so instruktiv, wertvoll und unersetzbar auch alles Gebotene weiter ist und bleiben wird, wird sich sieghaft bereitstellen ein zweites, bezauberndes Element: die Lebensregsamkeit der Tiere in ihren vielgestaltigen und oft

59 Vgl. insb. Gotthard Wolf, *Der Wissenschaftliche Dokumentationsfilm und die Encyclopaedia Cinematographica*, München: Johann Ambrosius Barth Verlag 1967.

60 Andere Begriffe, die auch heute in den Beschreibungen der EC oft kursieren, weist er in diesem Text zurück wie »Studienfilm, Sammlungsfilm, Film-Dauerpräparat, Bewegungspräparat, Präparatfilm, Bewegungsdokument, Filmdokument, Bewegungsstudie, Kinematogramm, Bewegungs-Reproduktionsfilm, Verhaltensreproduktion« (ebd., S. 10–11).

61 Gotthard Wolf, »Die wissenschaftliche Film-Enzyklopädie als internationale Aufgabe«, in: *Research Film, Le Film de Recherche, Forschungsfilm* 1/3 (1953), S. 1–6, hier S. 4.

62 Otto Storch, »Das Tierfilm-Museum, eine gebotene Ergänzung des zoologischen Museums«, in: *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien* 92 (1951), S. 99–105, hier S. 102.

überraschenden Formen. Es wird sich damit eine neue Museumsatmosphäre bilden.⁶³

Zur Realisierung des Vorhabens diskutierte das Committee for Scientific Research Film 1950 einen Projektionstisch, der es Studierenden und Wissenschaftler:innen ermöglichen solle, Filme möglichst einfach abzuspielen. Das Filmmaterial sollte sich dabei in einer Kassette befinden, wodurch sich das Einspannen des Filmstreifens erübrigen würde. Diese Ausführungen zeigen, dass Storchs Filmmuseum ein öffentlich zugängliches und benutzbares Filmarchiv sein sollte. Wolf griff Storchs Ideen auf und fasste sie wie folgt zusammen: In Analogie zu zoologischen Museen als Sammlungen toter Tiere, die systematisch nach Fundort und weiteren Kategorien geordnet sind, sei es speziell für die Naturwissenschaften und die Biologie notwendig, »eine nach systematischen Gesichtspunkten geordnete Filmsammlung aufzubauen, die dann etwa nicht nur die einzelnen Tiere, sondern z. B. die Lokomotion, die Sinnesphysiologie usw. bei den einzelnen Tieren erfasst und für Studenten und Gelehrte zur Auswertung zur Verfügung steht.«⁶⁴ Ziel dabei sei, in »wissenschaftlich systematische[r] Arbeit über viele Jahrzehnte auf internationaler Basis eine Erfassung der Fauna durch den wissenschaftlichen Film« zu leisten. Wolf schreibt weiter: »Diese Idee scheint zunächst utopisch. Sie sollte jedoch in Angriff genommen werden, auch wenn zu unseren Lebzeiten nur ein Teil der gesamten Sammlung verwirklicht werden könnte. Dieser Storch'sche Gedankengang ist ein Teil einer Film-Enzyklopädie.«⁶⁵ Zentral an Wolfs Zitat ist die erstmalige Erwähnung der »Film-Enzyklopädie«. Im Enzyklopädie-Begriff scheint nicht nur die Idee des Filmarchivs und des Museums aufzugehen, sondern er unterstreicht die durch Wolf so begehrte Wissenschaftlichkeit seines Vorhabens, das er mit Attributen wie »konsequent«, »exakt« und »kompromisslos« belegte.⁶⁶

Die EC entstand in einer Zeit, in der enzyklopädische Großprojekte Kon-

63 Ebd., S. 105.

64 Wolf, »Bericht ISFA« (1950).

65 Wolf, »Bericht über die mit Genehmigung des Direktors der FWU – München durchgeführte Auslandsreise des Leiters der Abteilung Hochschule und Forschung – Göttingen, Dr.-Ing. Wolf, nach Den Haag in der Zeit vom 16. 9.–24. 9. 1951«, 9. 10. 1951, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

66 Gotthard Wolf, »Bericht über die mit Genehmigung des Direktors der FWU durchgeführte Auslandsreise des Direktors der Abteilung Hochschule und Forschung, Göttingen, Dr.-Ing. Wolf, nach Paris in der Zeit vom 23. 9.–2. 10. 52«, 10. 10. 1952, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

junktur hatten. Die Kulturanthropologinnen Regina Bendix und Michaela Fenske begründen diese Konjunktur von Enzyklopädien nach dem Zweiten Weltkrieg damit, dass nach der kriegsbedingten Zerstörung von Büchern und Wissen der Hunger nach der Bewahrung von Beständen sowie nach gesichertem Wissen gewachsen sei. Enzyklopädien schienen geeignet, diesen Bedürfnissen beizukommen. Sie beanspruchten Autorität und Objektivität im Prozess der Wissensauswahl und -darstellung, und geben vor, werteneutral in der Sammlung und Systematisierung zu sein. Darüber hinaus sind sie von einer »Aura der Ideologiefreiheit« umgeben. Das Format hätte so ermöglicht, ohne Aufarbeitung der Beteiligung am Faschismus »nahtlos die wissenschaftliche Arbeit fortzusetzen«.⁶⁷ Die Befunde von Fenske und Bendix lassen sich auf die EC übertragen. Erstens entlastete das scheinbar ideologiefreie Format Institut wie auch Sammlung von ihrer Vergangenheit. Zweitens erlaubte das Format Wolf, an seine Tätigkeit mit wissenschaftlich-forschendem Messfilm während des Krieges anzuschließen, indem er sich konzeptuell um die Wissenschaftlichkeit der Enzyklopädie bemühte. Diese Bemühungen zeigen sich insbesondere in seinen Bestimmungen des »Wesens« des enzyklopädischen Films als »Forschungsfilm«⁶⁸ oder in seinem Insistieren auf »Exaktheit«.⁶⁹

Bis auf wenige Ausnahmen gingen keine Filme und kein Filmmaterial aus der RfDU/RWU in die EC ein. Eine Ausnahme bildet wie schon erwähnt Schardins Film *Der Bruchvorgang im Glas*, der 1976 als Enzyklopädie-Film neu veröffentlicht wurde – zusätzlich zum Hochschulfilm C 433, der weiter zu beziehen war. Damit erhielt er als Film E 2355 einen neuen Platz im Katalog und einen neuen Untertitel: *Historische Aufnahmen der Bruchausbreitung beim Beschuß verschiedener technischer Gläser (Cranz-Schardin-Verfahren)*, durch den die Historizität der Aufnahmen betont und ihr Inhalt auf technische Gläser fixiert wurde. Gut möglich, dass damit der wehrtechnische Hintergrund der Aufnahmen verschleiert werden sollte.

Obwohl C 1 und C 2 nie Teil der EC wurden, entsprachen die Strömungsfilme sowohl dem Forschungsbegriff der EC-Filme als auch ihrem Aufbau und ihrer Konzeption: Erstens gelangt das im vorherigen Kapitel beschrie-

67 Michaela Fenske, Regina Bendix, »Hinter verschlossenen Türen. Akteure und Praxen der Wissensaushandlung am Beispiel des »Handwörterbuchs der Sage«, in: *Berliner Blätter. Volkskundliches Wissen. Akteure und Praktiken* 50 (2009), S. 27–48, hier S. 36.

68 Wolf, »Die wissenschaftliche Film-Enzyklopädie« (1953).

69 Wolf schreibt bspw., dass »nur die wirklich wissenschaftlich exakten Filme für diese internationale Filmsammlung« interessant seien, vgl. Gotthard Wolf, »Bericht über eine mit Genehmigung des Direktors der FWU durchgeführte Dienstreise nach Florenz in der Zeit vom 13.–24. 10. 1950«, 9. 10. 1950, in: IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek.

bene Prinzip des »Single Concept Film«⁷⁰ in der EC zu einem Höhepunkt. Die EC-Filme widmen sich *einer* Bewegung *einer* Art, *eines* Materials oder *einer* Gruppe von Menschen. Thema der Strömungsfilme ist analog dazu die Entstehung von Wirbeln in Wasser. Was bei den Strömungsfilmen das Wasser ist, ist im Film E 1 der Elefant, die Wirbelentstehung wiederum der Schritt. Zweitens wird die filminterne Struktur von C 1 und C 2, in der die Wirbelbildung hinter verschiedenen Objekten in kurzen Szenen gezeigt wird, in der Aufteilung nach Bewegungsweisen in der EC auf die Spitze getrieben. Während bei C 1 der kreisrunde Zylinder, der elliptische Körper oder die Scheide nacheinander abgehandelt werden, existieren zum Film E 1 außerdem die Filme E 60 zum Trab des Elefanten und E 89 mit dem Titel *Schritt II*. Ähnliche Strukturvergleiche lassen sich auch mit anderen technischen Filmen aus der der RfdU/RWU anstellen.

Mit anderen Worten, technische Filme, wie die Prandtls und Schardins, prägten die Enzyklopädie und damit Wolfs Beitrag zur neuen Ordnung. Die in ihnen sedimentierten Vorstellungen von Klarheit, Ordnung, Präzision, Allgemeingültigkeit und letztlich Ideologiefreiheit übertrug Wolf auf die biologische und ethnologische respektive »volks- und völkerkundliche« Sektion. Der analytische bis messende Blick, der sich in den technischen Filmen auf Strömungen und Geschosse gerichtet hatte, blickte neu auf Tiere und Menschen. Unterschieden wurde nicht mehr die Wirkung unterschiedlicher Geschosstypen beim Eindringen in einen Körper, unterschieden wurden Menschen nach der Art und Weise, wie sie Brot backen oder spielen. In weiteren Publikationen gehen wir auf die ethnologischen und biologischen Filme der EC intensiver ein.⁷¹ An dieser Stelle können wir jedoch festhalten: Die Forschungsfilme waren in der EC zwar nicht mehr Ressourcen eines totalitären Systems. Stattdessen sollten die aus einem totalitären System stammenden Filmstrukturen Teil einer universalistischen Idee werden.

In Hinblick auf den Strömungsfilm hatte die Übernahme durch das IWF kaum inhaltliche, wohl aber formatspezifische Folgen: So wurden C 1 und C 2 mehrfach reformatiert und als VHS, als Digital Betacam und als DVD verliehen, letztere bis 2002. Bis heute sind sie über das AV-Portal der Techni-

⁷⁰ Kühn, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus* (1998), S. 104.

⁷¹ Vgl. das SNF-geförderten Forschungsprojekts *Visualpedia. »Atlas Encyclopaedia Cinematographica« and the Visual Science and Technology Studies* (2017/9, 9. 2022–8. 2026, Sarine Waltenspül, Universität Luzern, Wissenschaftsforschung), <https://data.snf.ch/grants/grant/201759>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025; vgl. insb. Sarine Waltenspül, »Who Owns the Films? Who Shows the Films? A Film of String Figures in a Web of Relationships«, in: Mario Schulze, Dies. (Hg.), *String Figures. A Cultural Practice between Art, Anthropology, and Theory*, Zürich, Berlin: Diaphanes 2025, S. 93–122.

schen Informationsbibliothek Hannover online zugänglich. Heutige Besucher des AV-Portals können sich nicht nur C 1 und C 2, C 433 und E 2355, sondern ebenso Paul Rostocks Film ohne Einschränkung – vor allem aber ohne jede Kontextualisierung – anschauen.

Kapitel 6

Rekrutierungsfilm, 1959–1985



Abb. 6.1: Die Aufnahmen aus Prandtls Strömungsfilm wurden in dem US-amerikanischen Lehrfilm *Vorticity* von Ascher Shapiro von 1961 verwendet.

Auch auf der anderen Seite des Atlantiks fügten sich die Göttinger Strömungsaufnahmen scheinbar mühelos in ein Großprojekt filmischen Wissens ein. Zwischen 1959 und 1969, während der entscheidenden Phase des Space Race mit der Sowjetunion, veröffentlichte das US-amerikanische National Committee for Fluid Mechanics Films, kurz NCFMF, 22 16mm-Tonfilme. Dieses Lehrfilmprogramm des NCFMF ist das umfassendste zur Fluidodynamik des 20. Jahrhunderts. Die ersten drei veröffentlichten Lehrfilme (*Fluid Dynamics of Drag*, *Vorticity* und *Flow Visualization*) beinhalten Sequenzen aus Prandtls Strömungsfilmen. Darüber hinaus produzierte das NCFMF 133 8mm-Kassetten mit Stummfilmen von zwei bis vier Minuten Länge, von denen sieben ausschließlich das in Göttingen produzierte Filmmaterial enthalten.¹

¹ Ascher Shapiro, *Illustrated Experiments in Fluid Mechanics*, Cambridge, MA: MIT Press 1972, S. 172, S. 182, S. 207–209.

Ein Beispiel für die Wiederverwendung der Filmaufnahmen aus Prandtls Labor im NCFMF ist *Vorticity* aus dem Jahr 1961 (Abb. 6.1). Dieser beginnt damit, wie der MIT Professor für Maschinenbau Ascher H. Shapiro ruhig und gelassen, aber mit dem Nachdruck eines erfahrenen Lehrers in die Kamera spricht: »The experiments we are going to do in this film have to do with vorticity.« Im Anzug und mit Krawatte sitzt er am Schreibtisch, im Hintergrund ein aufgeräumtes Bücherregal, vor ihm einige weiße Blätter Papier. Im weiteren Verlauf führt uns Shapiro durch die grundlegenden Theoreme zu Wirbelbewegungen. Wir sehen Close-ups der von ihm geschriebenen Formeln und seiner Bleistiftzeichnungen. Vor allem aber können wir die fluiddynamischen Experimente verfolgen, die im Studio in Watertown, Massachusetts, unweit des MIT-Campus inszeniert wurden. Dabei sind Shapiro im Studio, seine Hände beim Experimentieren oder ein anderer Experimentator zu sehen. All das gibt uns Hinweise auf die Größenverhältnisse der Experimente und ermöglicht eine Verortung von Experiment und Kamera. Etwa 17 Minuten nach Beginn sind plötzlich Ausschnitte aus dem Göttinger Strömungsfilm zu sehen. Sie zeigen die Strömung um eine Scheide. Verortung und Größenvergleich sind für kurze Zeit verschwunden. Es gibt keinen Hinweis auf die Herkunft der Aufnahmen, auch Prandtl wird nicht erwähnt, wenngleich sein Konzept der Grenzschicht den ganzen Film durchwirkt. Shapiro erklärt per Voice-over, wie sich an einer solchen Scheide ein »concentrated vortex« bildet. Unmittelbar darauf folgt ein Schnitt zurück ins Studio in Massachusetts. Wenige Minuten später wird das Göttinger Filmmaterial erneut visuell und narrativ in den MIT-Lehrfilm integriert. Shapiro führt sein Publikum in die Tragflügeltheorie ein, zunächst anhand von Bleistiftzeichnungen (Abb. 6.1), dann mithilfe von Aufnahmen aus dem Strömungsfilm, diesmal von den Tragflügelzenen. Schließlich stoppt die Bewegung, der Film wird zum Standbild und dieses wird – angelehnt an die Bleistiftzeichnungen – mit Grafiken überlagert. Die Grafiken vermitteln visuell zwischen dem Laborzelluloid Prandtls aus den 1920er Jahren und der Lehrfilmästhetik der 1960er Jahre und schlagen zudem eine Brücke zwischen Theorie und Filmbild.

Insgesamt bestehen knapp drei Minuten des 44-minütigen Films, den Shapiro geschrieben und verantwortet hatte, aus den Strömungsaufnahmen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut. Solche Wiederverwendungen sind nicht leicht zu finden und sie bleiben daher meist unbemerkt. *Vorticity* haben wir nicht über eine Archivrecherche, über eine Suche nach Prandtl, dem KWI, der RfdU oder dem IWF gefunden, sondern zufällig beim abendlichen Versuch der Weiterbildung in Strömungslehre auf YouTube. Im Dezember 2022

rangierten die Filme des NCFMF bei der Suche nach »fluid dynamics« noch ganz oben.² Ausgehend von *Vorticity* hat sich uns dann das ganze Ausmaß des NCFMF-Programms erschlossen.

Womit haben wir es bei dieser Aneignung Shapiros von 30 Jahre altem Filmmaterial zu tun? Zunächst lassen sich weitreichende Ähnlichkeiten mit der Wiederverwendung durch die Reichsstelle für den Unterrichtsfilm, RfDU später RWU, erkennen. Bereits mit dieser Veröffentlichung als Hochschulfilm hatte sich die Zahl der Betrachtenden der Strömungsaufnahmen massiv erhöht und weit über den engen Kreis der Fachcommunity ausgedehnt. Das NCFMF war wie die RfDU/RWU eine große, bildungspolitisch motivierte Vertriebsorganisation, die basierend auf den technischen, institutionellen, ökonomischen und rechtlichen Herausforderungen des Mediums Film bestimmte Standards, Formate und Regeln für die Filmzirkulation etablieren musste. Zugleich unterscheidet sich die Wiederverwendung durch das NCFMF erheblich von den bisher besprochenen Verwendungen: Nicht nur führt die Spur endgültig von Göttingen weg, und damit weg vom Hydrodynamischen Institut, von Prandtl, von der RfDU/RWU und dem Nationalsozialismus, vom IWF, von der Bundesrepublik, von Europa, hinein in die USA des Kalten Krieges. Die Wiederverwendung führt auch weg von dem Film: von seiner bisherigen Gestaltung, den bisherigen Schnittversionen, seiner Narration, kurz von dem filmischen Zusammenhang, der dem Material seine Identität als Wissenschaftsfilm und Hochschulfilm sicherte. In diesem Teil der Geschichte geht es indessen um ein paar neu arrangierte, nachbearbeitete, vertonte und letztlich de- sowie rekontextualisierte Ausschnitte aus dem Strömungsfilm.

Zitieren im Film

Shapiros Umgang mit Prandtls Aufnahmen lässt sich zunächst als filmisches Pendant zum textlichen Zitat interpretieren, jener üblichen Form der Anerkennung von Vorgänger-innen, Verbündeten oder Vorbildern im Wissenschaftsbetrieb. Denn obwohl Shapiro in dem Moment, in welchem die Aufnahmen in seinem Lehrfilm zum Einsatz kommen, nicht auf Prandtl verweist, heißt es im Schlusstitel des ersten Films der Reihe, *Fluid Dynamics*

² Das hat sich inzwischen, Stand April 2025, geändert: *Vorticity* kommt auf 120 000 Klicks (wobei der Film mehrfach hochgeladen wurde), andere Lehrvideos zur Fluidodynamik liegen im Millionenbereich. Allerdings stammen sie von Kanälen, die Wissenschaftsvideos zu einer breiten Themenpalette anbieten und eine sehr hohe Anzahl von Abonnent-innen aufweisen.

of Drag, doch explizit: »Special acknowledgment to L. Prandtl for excerpts from ›Production of Vortices by Bodies Travelling in Water‹«. Bemerkenswert dabei ist, dass in den weiteren Filmen die Zitation im Abspann mehr und mehr verschwindet. Beim zweiten Film *Vorticity* sind nur noch die »Scenes from ›Production of Vortices‹ by L. Prandtl« aufgelistet – neben zwei Aufnahmen der NACA respektive deren Nachfolgeorganisation NASA sowie einem Gedicht des Meteorologen L. F. Richardson (Abb. 6.1). Bei *Flow Visualization*, dem dritten Film, der immerhin mit ikonischen Aufnahmen aus Prandtls Film einsteigt, findet sich am Ende gar kein Hinweis mehr. Prandtls Material wird durch das NCFMF folglich zunehmend als Eigenes gewertet, aus dem Filmzitat wurde eine *found footage appropriation*.

Was bedeutet es, wenn etwas filmisch zitiert respektive angeeignet wird? Das Filmzitat im Lehr- und Wissenschaftsfilm ist bisher weitgehend unerforscht. Und dies obwohl visuelle Zitation von Film im Film weit verbreitet und, so die Filmwissenschaftlerin Christa Blümlinger, die »Verwendung von Vorgefundenem im Film [...] dem Medium durch Montage und Reproduktivität gewissermaßen eingeschrieben ist«.³ Während die Film- und Kunstgeschichte eine Fülle von Beispielen für den Einsatz historischen Filmmaterials in neuen Werken behandelt, die üblicherweise als Found-Footage-Filme kategorisiert werden, ist in der Literatur zu Filmen aus Physik und Technik kaum ein konkretes Beispiel für die Aneignung von Fremdmaterial zu finden.⁴ Lässt sich aus den bestehenden Analysen zu Found-Footage-Filmen aus der Filmwissenschaft etwas für den Lehr- und Wissenschaftsfilm lernen? Ist die filmische Zitation in einem Lehrfilm beispielsweise vergleichbar mit der Praxis des Avantgardefilms seit den 1930er Jahren, vorgefundenes Filmmaterial so neu zu montieren, dass dadurch ein völlig anderes visuelles Erlebnis als im Ausgangsmaterial entsteht?⁵ Wenn wir durch Filmzitate, wie Blümlinger

3 Christa Blümlinger, *Kino aus zweiter Hand: Zur Ästhetik materieller Aneignung im Film und in der Medienkunst*, Berlin: Vorwerk 8 2009, S. 9.

4 Es gibt jedoch Literatur zur Aneignung von wissenschaftlichen Filmen in Kunst- und Experimentalfilmen wie bspw. Maria Ida Bernabei, *Un'emozione puramente visuale. Film scientifici tra sperimentazione e avanguardia*, Venedig: Lettera Ventidue 2021; Oliver Gaycken, »Beauty of Chance«: Film ist«, in: *Journal of Visual Culture* 11/3 (2013), S. 307–327; Hanna Rose Shell hat außerdem über die eigene filmische Wiederverwendung von Filmmaterial/Chronofotografien von Marey reflektiert, vgl. Hanna Rose Shell, »Cinehistory and Experiments on Film«, in: *Journal of Visual Culture* 11/3 (2013), S. 288–306, <https://doi.org/10.1177/1470412912455617>; für einen Überblick zur Found-Footage-Film Literatur vgl. Nina Steinmüller, *Zeitlichkeit und Geschichtlichkeit des bewegten Bildes in der Gegenwartskunst*, Leiden: Brill | Fink 2021, S. 127–192, https://doi.org/10.30965/9783846766170_006.

5 William Charles Wees, *Recycled Images: The Art and Politics of Found Footage Films*, New York: Anthology Film Archives 1993.

gezeigt hat, Zugang zum visuellen Gedächtnis bekommen, gilt das dann auch für die meist ahistorisch argumentierenden Wissenschaften? Bieten Lehrfilmzitate einen Zugang zum Erinnern und Vergessen, Integrieren und Ausschließen, Reaktivieren und Wegwerfen von Wissen?

Das Zitat im Wissenschaftsfilm führt vor, wie etwas, das im Labor seinen Anfang nimmt, auch noch viel später in historisch disparaten Kontexten in der Bildung, in der Politik und im Militär wirksam werden kann. Zwar gilt auch für die Paper und Lehrbücher Prandtls, dass sie weithin bekannt waren und dass sie viel zitiert wurden (auch, da sie bereits früh als Übersetzungen vorlagen). Die Zirkulation des Films wiederum ermöglichte andere Nachbarschaften, Emotionen und visuelle Verbindungen als die Textzirkulation und hatte andere Folgen für die Einsetzbarkeit des Wissens von der Grenzschrift.

Im Sinne einer neueren Globalgeschichte des Wissens stellen wir im Folgenden die lokalen Voraussetzungen, Verzerrungen und Transferleistungen ins Zentrum, die der scheinbaren Globalität und Mobilität des Filmwissens vorausgingen.⁶ Zunächst verorten wir dafür das NCFMF im bildungspolitischen Kontext des Space Race. Wir beschreiben die neuen geopolitischen Ziele der USA im Kalten Krieg, die die Voraussetzung für das Lehrfilmprogramm des NCFMF bildeten. Daraufhin analysieren wir, wie die Göttinger Aufnahmen in den US-Science Education-Filmen funktionalisiert, kanonisiert und kommodifiziert wurden.

Flow Vis for the Space Race: Wissenschaftsvermittlung in Zeiten des Kalten Krieges

Shapiros Filme und das NCFMF waren Teil eines umfassenden Bildungsprogramms.⁷ Ab Mitte der 1950er Jahre sowie verstärkt nach dem erfolgreichen Start des ersten künstlichen Erdsatelliten Sputnik durch die Sowjetunion

6 John Krige (Hg.), *Knowledge Flows in a Global Age: A Transnational Approach*, Chicago: University of Chicago Press 2022, <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226820378-001>. Neben diesem Band und weiteren Arbeiten Kriges wären hier auch die Schriften von Warwick Anderson, Ari (Larissa) Heinrich, Kapil Raj oder Sujit Sivasundaram zu nennen.

7 Einige hervorragende Studien haben sich in den letzten Jahren unterschiedlichen Aspekten dieses umfassenden Bildungsprogramms gewidmet. Wir ziehen hier insbesondere folgende heran: John L. Rudolph, *Scientists in the Classroom*, New York: Palgrave 2002; Audra J. Wolfe, *Freedom's Laboratory: The Cold War Struggle for the Soul of Science*, Baltimore: Johns Hopkins University Press 2018; Josep Simon, »The Transnational Physical Science Studies Committee: The Evolving Nation in the World of Science and Education (1945–1975)«, in: John Krige (Hg.), *How Knowledge Moves: Writing the Transnational History of Science and Knowledge*, Chicago: University of Chicago Press 2019, S. 308–342.

stockte die US-Regierung das Budget für Bildung und insbesondere für die Vermittlung von Naturwissenschaften massiv auf. Durch den »National Defense Education Act« wurden ab 1958 mehrere hundert Millionen Dollar in die Überarbeitung US-amerikanischer Schulcurricula gepumpt. Vor allem die relativ junge nationale Forschungsförderung, die National Science Foundation, kurz NSF, gleiste eine ganze Reihe von Curriculumsprogrammen in Physik, Biologie, Chemie, Mathematik und vielen weiteren Fächern auf. Im Rahmen dieser Programme erdachten nicht etwa Pädagog:innen neue Lehrbücher, Quellensammlungen, Klassenzimmer-Ausstattungen und Filme, sondern Wissenschaftler:innen von amerikanischen Eliteuniversitäten. Unter Mitwirkung verschiedener Regierungsbehörden bis hin zu Geheimdiensten wurden die neuen Unterrichtsmaterialien zunächst national und dann auch international vertrieben.

Die mit dem Sputnikschock einhergehende Wissenschaftsvermittlungs-Flut stand dabei im Kontext von drei Zielen der US-Regierung. Erstens sollten die neuen Curricula generell mehr Schüler:innen für naturwissenschaftliche Studiengänge motivieren. Denn von der Industrie, dem Militär sowie den Schulen und Hochschulen wurde seit Längerem ein zunehmender Mangel an wissenschaftlich ausgebildetem Personal beklagt. Damit zusammenhängend sollten die Kurse zweitens insbesondere jene Themen vertiefen, die für die zeitgenössische militärische Forschung zentral waren und so dem Land zu dem Personal verhelfen, das dem Militär mit wissenschaftlichen Mitteln dienen konnte. Hintergrund dieser Überlegungen waren nicht zuletzt die jüngeren Erfahrungen damit, wie gut sich wissenschaftliche Forschung in militärische Überlegenheit übersetzen ließ. Der militärische Erfolg der fast mythisch aufgeladenen Großforschungsinitiativen des Zweiten Weltkriegs (allen voran das Manhattan-Projekt) war im Kalten Krieg strategiebestimmend.⁸ Und drittens waren die Curricula Teil eines kulturell-psychologischen Krieges um die Definitionsmacht von Forschung und Wissenschaft. Denn die Naturwissenschaften und insbesondere die Physik bildeten nicht nur die Grundlage für jene technischen Entwicklungen, mit denen man den Himmel kolonisieren konnte. Sie sollten gleichzeitig ein spezifisch westliches Bild der Wissenschaft zeichnen: eine Wissenschaft, die für Rationalität, Ideologiefreiheit und insbesondere für die Freiheit der Forschung steht. Während die Sowjetunion einen Kampf gegen die »bürgerliche Wissenschaft« führte, wurde Wissenschaft im Westen als unpolitisches Unternehmen hochgehalten.

⁸ Kelly Moore, *Disrupting Science. Social Movements, American Scientists, and the Politics of the Military*, Princeton: Princeton University Press 2008, S. 4.

Wie sich diese drei Ziele konkret in der Wissenschaftsvermittlung manifestierten und welche Rolle Filme dabei spielten, lässt sich an dem Bildungsprogramm in Physik nachvollziehen. Dieses Physical Science Studies Committee, PSSC, war zugleich Vorreiter und Vorbild für andere Programme wie das NCFMF.⁹ Das PSSC produzierte auch Shapiros ersten NCFMF-Film, *Fluid Dynamics of Drag*. Der Unterschied zwischen den beiden Programmen bestand letztlich vor allem darin, dass das PSSC auf den Physikunterricht in High-schools abzielte, während das NCFMF für die Vertiefung in Fluidmechanik an Colleges gedacht war. Das PSSC-Curriculum wurde 1960 lanciert und avancierte schnell zum weltweit am häufigsten genutzten Lehrprogramm in Physik.¹⁰ Neben Textbüchern, einem Handbuch zur Durchführung von Experimenten, speziell designten Laborapparaten für Schulen, einem Quellenbuch für Lehrer-innen und einer Reihe von über fünfzig kurzen, vertiefenden Taschenbüchern produzierte das PSSC auch eine Serie von über fünfzig Filmen.

Das PSSC begann zunächst als lokale Initiative von Physikern – ausschließlich weiße Männer –, die den Physikunterricht reformieren wollten. Der Historiker John Rudolph hat in seiner Studie *Scientists in the Classroom* unterstrichen, dass die Ziele der PSSC-Wissenschaftler nicht notwendig deckungsgleich waren mit denen der US-Regierung.¹¹ 1956 von einer Gruppe von MIT-Professoren unter der Leitung von Jerrold Zacharias gegründet, ging es den PSSC-Physikern zunächst darum, Physik als »Methode des Denkens« zu präsentieren.¹² Damit wollten sie sich von der sogenannten *life adjustment*-Pädagogik absetzen, die in den USA nach dem Zweiten Weltkrieg tonangebend war. Beim *life adjustment* stand die Anhäufung nützlicher Fakten für die Vorbereitung auf das alltägliche Leben im Zentrum. Die PSSC-ler strebten hingegen danach, ein Bild des wissenschaftlichen Arbeitens in seinen Grundlagen zu vermitteln, ein Bild, das für sie der Essenz ihrer Disziplin entsprach: empirisch-experimentelle Beobachtungen, methodisch angeleitete Schlussfolgerungen sowie ein auf Einfallsreichtum und Initiative basierendes Denken.¹³ Die Orientierung des Programms an den Grundlagen und konkreten experimentellen Methoden der Physik muss zudem im Kon-

9 Rudolph, *Scientists in the Classroom* (2002), S. 84.

10 Einige Zahlen dazu finden sich bei Simon, »The Transnational Physical Science Studies Committee« (2019), S. 314; weitere in »A partial List of Teachers using the PSSC Course«, MIT Archives, PSSC Records, MC-0626, Box 1.

11 Vgl. hier und im Folgenden Rudolph, *Scientists in the Classroom* (2002), S. 113–136.

12 Walter Michels, »Committee on High School Physics Teaching. High School Physics Texts«, MIT Archives, MIT Oral History Program, MC-0602, Box 1.

13 Vgl. Rudolph, *Scientists in the Classroom* (2002), S. 135.

text des antiintellektuellen Klimas der McCarthy-Ära und der irrationalen Angriffe gegen die Wissenschaft in dieser Zeit gesehen werden. Die PSSC-Physiker wollten auch den ausländerfeindlichen Ressentiments sowie den antikommunistischen Verdächtigungen etwas entgegen setzen, die in den USA der 1950er Jahre an der Tagesordnung waren. Eine neue naturwissenschaftliche Pädagogik schien den Physikern das geeignete Mittel für die Sicherung des Vertrauens in die Wissenschaft und deren Ergebnisse zu sein. Und schließlich war ihre Strategie, sich auf die Didaktik der Grundlagen zu konzentrieren, eine Reaktion auf die oben bereits erwähnte, aufgeladene Rolle der Physik in den kriegsrelevanten Forschungsvorhaben des Zweiten Weltkriegs. Grundlagenforschung und Grundlagendidaktik standen nun für eine Wissenschaft, die weniger leicht instrumentalisiert und für politische Ziele ausgenutzt werden könne – fälschlicherweise, wie sich zeigen wird.

Ein neuer Typus des Filmphysikers

Den PSSC-Physikern galten insbesondere Filme als ideales Mittel, um das öffentliche Bild des Wissenschaftlers zu korrigieren und vorzuführen, wie die Wissenschaft ihre Behauptungen in der Praxis abstützt. Im ersten Jahresbericht wird die zentrale Bedeutung der Filme für das Gesamtprojekt unterstrichen: »The films are expected to set the tone and level for the entire course.«¹⁴ Zacharias und seine Kollegen inszenierten darin grundlegende Experimente und zogen im Anschluss klare (teils überraschende) Linien zwischen den aus den Experimenten gewonnenen empirischen Daten und den physikalischen Theorien. Außerdem sollten alle PSSC-Filme »echte« Wissenschaftler zeigen, die ebenso »echte« Probleme angehen. Damit richteten sie sich sowohl gegen das Stereotyp des *mad scientist*, das besonders nach dem Zweiten Weltkrieg die öffentliche Wahrnehmung prägte, als auch gegen das Klischee des sozial ungeschickten Elfenbeinturmbewohners oder des wissenschaftlichen Immigranten mit körperlosem Verstand und etwaig kommunistischen Ideen. Wie sich einer der Regisseure erinnert, galt die Regel: »no beards, no accents.«¹⁵ Stattdessen wurde der Wissenschaftler in den Filmen als normaler, aktiver und

14 »First Annual Report of the Physical Science Study Committee«, MIT Archives, PSSC Records, MC-0626, Box 1. Aufgrund der besonderen Eignung von Filmen für die Botschaft der Physiker spielten diese im ersten Antrag auf Finanzierung des PSSC sogar noch die Hauptrolle, vgl. Jerrold Zacharias, »Movie Aids for Teaching Physics in High Schools«, 15. 3. 1956, MIT Archives, MIT Oral History Program, MC-0602, Box 1.

15 Interview mit Jack Churchill, MIT Archives, MIT Oral History Program, MC-0602, Box 1, S. 47.

gelegentlich fehlbarer *american boy* dargestellt, der in seiner Freizeit auch gerne mal einen Western oder besser noch Science Fiction-Film schaut.¹⁶ Die einzige Physikerin, die in den 59 Filmen des PSSC auftritt, ist Dorothy Montgomery vom Hollins College, eine der ältesten Bildungsinstitutionen für Frauen in den USA. In ihrem sogenannten »Lab Film« *Electrons in a Uniform Magnetic Field* (1959) steht das teilchenphysikalische Experiment im Vordergrund, das sie (keineswegs dem *american girl* entsprechend) zurückhaltend und klar, nur unterstützt durch die Formeln, die sie auf einer Tafel notiert, beschreibt.

Die vom PSSC und NCFMF angewandten filmischen Mittel reagierten auf die Medienentwicklungen in den 1950er Jahren. Das Fernsehen stieg in den USA zum Massenmedium Nummer 1 auf. 1965 hatten 93 % der amerikanischen Haushalte einen Fernseher, der durchschnittlich 5,5 Stunden pro Tag eingeschaltet gewesen sein soll.¹⁷ Die neue Präsenz des Fernsehens war den Filmen ästhetisch und technisch anzusehen: die Moderation durch eine Art Anchorman – in dem Fall den nahbaren Physiker –, die Studioatmosphäre, in der die meisten Experimente direkt vor der Kamera durchgeführt wurden, und die geringe Anzahl von Einspielfilmen, die anmoderiert und dann durch Voiceover des Moderators an das Studio zurückgebunden wurden. In ihrer Aufmachung wirken die Filme wie eine Mischung aus Nachrichtensendung, Frühstücksfernsehen und Fernsehdoku.¹⁸ Auch das noch junge Format des

16 Zum *mad scientist* als visueller Topos vgl. Christopher Frayling, *Mad, Bad and Dangerous. The Scientist and the Cinema*, London: Reaktion Books 2002; zum neuen Typus des alltagszugewandten, kreativen und leidenschaftlichen Wissenschaftlers, der in den 1960er Jahren aufkommt vgl. Anke te Heesen, »The way of the Scientist«, Ikonografie der Unmittelbarkeit«, in: Christian Vogel, Sonja Nökel (Hg.), *Gesichter der Wissenschaft*, Göttingen: Wallstein 2019, S. 161–177; zu den Biografien der PSSC-Filmpresenter vgl. »Biographies of PSSC Film Personalities«, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387.

17 Michele Hilmes, *Only Connect: A Cultural History of Broadcasting in the United States*, Belmont: Wadsworth 2014, S. 208.

18 Der Wissenschaftshistoriker Jean-Baptiste Gouyon hat für den britischen Raum und insbesondere die BBC beschrieben, wie mit der Etablierung des Fernsehens eine Professionalisierung der Filmemachenden von Wissenschaftsdokumentationen einherging: »A strong division of labour between scientists and film-makers progressively became instituted. Scientists were to produce the facts which film-makers would then use to create elaborate audio-visual artefacts fit for public consumption.« Er schlußfolgert, dass in den 1960er Jahren die »broadcaster« die Kontrolle über die öffentliche Wissenszirkulation übernahmen. Trotz der Orientierung an neuen medialen Formaten wie dem Bildungsfernsehen blieben im Falle des PSSC und des NCFMF jedoch die Wissenschaftler federführend bei den Inhalten und der Narration der Lehrfilme (Jean-Baptiste Gouyon, »Science and film-making«, in: *Public Understanding of Science* 25/1 (2016), S. 17–30, hier S. 22, <https://doi.org/10.1177/0963662515593841>).

Bildungsfernsehens scheint Vorbild gewesen zu sein: In den USA gingen die ersten dieser Programme 1948 *on air*.¹⁹

Der 1916 geborene Asher Shapiro gehörte nicht zu den Gründungsmitgliedern des PSSC. Jedoch kam er spätestens bei der Produktion seines Films *Fluid Dynamics of Drag* (der dann eben nicht ins PSSC, sondern ins NCFMF einging) mit dessen Konzeption und der Art und Weise, Filme zu machen, in Berührung. Shapiro erfüllte das Bild des *american boy* mustergültig. In einfachen Verhältnissen in Brooklyn aufgewachsen, widmete er seine Freizeit dem Sport und dem Flötenspiel. Bevor er ans MIT ging, gehörte er zum Boxteam des City College New York. In einem Nachruf auf ihn (von seinem Kollegen Ronald Probststein) ist es wohl nicht zufällig eben dieser Sport, der ihn auf den Verlauf seiner steilen universitären Karriere vorbereitete: »Ascher's training as a fighter was ideal for someone who chose to spend his life at M.I.T.«²⁰ Von 1935 bis zu seiner Emeritierung studierte und forschte Shapiro mit wenigen Unterbrechungen am MIT. Shapiro gehörte zu einer Generation von Ingenieuren, für die die militärische Forschung das naheliegendste Feld der Betätigung war. Während des Zweiten Weltkriegs leitete er ein Labor der Navy, das Torpedomotoren entwickelte. Nach dem Krieg arbeitete er für die NACA und die Atomic Energy Commission. 1948 war er Teil einer Studiengruppe am MIT, die als Lexington Project bekannt wurde und die die Entwicklung von Flugzeugen mit Atomantrieb forcierte.²¹ Entsprechend waren Beispiele aus dem militärischen Bereich in den Filmen durchaus gängig. Shapiros erster Film, *Fluid Dynamics of Drag*, beginnt beispielsweise mit einer Montage von Strömungsphänomenen, in der sich Militär und ziviler Alltag bruchlos aneinanderreihen. In kurzer Folge werden ein Fisch im Aquarium, Armee-Fallschirmspringer, Konfettiregen am Times Square, ein Raketenstart, ein Segelrennen und schließlich Düsenjets gezeigt.

19 Ludwig Graf, »Entwicklung, Funktion, Präsentationsformen und Texttypen der Telekolleg- oder Akademie-Sendungen«, in: Joachim-Felix Leonhard et al. (Hg.), *Medienwissenschaft*, 3. Teilband: *Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen*, Berlin, Boston: De Gruyter Mouton 2002, S. 2369–2383, <https://doi.org/10.1515/9783110166767.3.52.2369>.

20 Ronald Probststein, »Asher Shapiro, 1916–2004«, in: *Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences (2014), <https://www.nasonline.org/wp-content/uploads/2024/06/shapiro-ascher.pdf>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.

21 James L. Livesey, »Degree Congregation Professor Asher Shapiro, University of Salford«, Empfehlung zur Ehrendoktorwürde, 13. 7. 1978, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387.

Obwohl sich also die Interessen der PSSC-Physiker, die sich selbst als unabhängige Wissenschaftler sahen, nicht unbedingt mit den erwähnten Zielen der Regierung deckten, waren sie doch in zweierlei Hinsicht kompatibel: Erstens entwickelte das PSSC ein Programm, das radikal von traditionellen Physikkurricula abwich. An die Stelle der Physik von Kühlschränken und Verbrennungsmotoren trat die Grundlagenphysik von Wellen, Atomenergieniveaus und Partikeln. Der Fokus auf die anspruchsvollere Grundlagenforschung rückte damit zugleich jenes Wissen ins Zentrum, das die Basis für die zeitgenössische militärisch-industrielle Großforschung bildete. Zweitens entsprach auch das vom PSSC präsentierte Bild der Wissenschaft der Regierungspropaganda. Gerade das Insistieren auf eine Wissenschaft, die auf Untersuchung, Experiment und Folgerichtigkeit beruhte, erschien geeignet, die Wissenschaft der Sowjetunion im Kontrast dazu als staatlich gesteuertes Marionettentheater wirken zu lassen. Das PSSC-Curriculum sollte die Unabhängigkeit und Integrität der Wissenschaft repräsentieren und sich damit zugleich implizit von der Wissenschaft östlich des Eisernen Vorhangs abgrenzen, von der angenommen wurde, dass sie fest in die Propaganda eingebunden war. Eine Doppelmoral ist hier jedoch nicht von der Hand zu weisen. Denn es gehörte zu den inhärenten Widersprüchen dieser sich als unpolitisch verstehenden Wissenschaft, dass eben jene Freiheit der Forschung hochgradig politisch gewollt und gesteuert war. Das Einstehen für die wissenschaftliche Freiheit mag zwar für die Physiker ein Akt der Opposition gewesen sein, gleichzeitig entsprach es aber der Regierungsagenda im Systemkampf.²²

Eine zentrale Strategie der US-Regierung war es, jene Initiativen direkt oder indirekt zu fördern, die eine militärisch und geopolitisch funktionalisierbare Vision von Wissenschaft propagierten. Noch vor dem Sputnikstart

²² Vgl. ausführlich Wolfe, *Freedom's Laboratory* (2016); zu einem ähnlichen Argument vgl. Zoë Druick, »UNESCO, Film, and Education: Mediating Postwar Paradigms of Communication«, in: Charles Acland, Haidee Wasson (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 81–102, hier S. 87–88. Die Forschungen zum NCFMF und PSSC sind bereits in folgenden Artikeln veröffentlicht worden: Mario Schulze, »Mobilizing Moving Images. Reusing a German Flow Film of the 1920s for US Science Education in the Cold War«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 361–369, <https://doi.org/10.1086/714728>; Mario Schulze, »Flow Vis for the Space Race. German Science Films Re-used in US-American Physics Education During Cold War«, in: Mariana Ivanova, Juliane Scholz (Hg.), *Science on Screen and Paper: Media Cultures and Knowledge Production in Cold War Europe*, New York, Oxford: Berghahn Books 2024, S. 50–70, <https://doi.org/10.1515/9781805396376-005>; Mario Schulze, »Ein Kalter Krieg der Curricula. Das Physical Science Studies Committee«, in: Tom Holert (Hg.), *Bildungsschock. Lernen, Politik und Architektur in den 1960er und 70er Jahren*, Berlin: De Gruyter 2020, S. 122–127.

erhielt das PSSC die erste großzügige Förderung durch die National Science Foundation über 300000 US-Dollar. Mit Unterstützung der Regierung verfolgte der administrative Überbau des PSSC und später des NCFMF, das Educational Services Incorporated (ESI), eine Politik sowohl der nationalen wie der internationalen Expansion.²³ Auf nationaler Ebene wurde die Curriculumsentwicklung priorisiert, auf internationaler Ebene arbeitete das ESI sowohl mit zahlreichen ausländischen Institutionen, die Interesse an den Kursen bekundeten und diese in ihren Ländern adaptieren wollten, als auch mit privaten oder semi-privaten US-Agenturen für internationale Beziehungen zusammen. So beispielsweise mit der Ford Foundation oder der Asia Foundation, beides Organisationen (mehr oder minder verdeckter) US-Politik, die teilweise durch CIA-Gelder finanziert und von Direktoren geleitet wurden, die eng mit den amerikanischen Geheimdiensten verbunden waren oder sogar zu ihren direkten Angestellten zählten.²⁴

Der Erfolg des ersten noch für den PSSC produzierten Film, und die Bedeutung, die der Fluidodynamik im Rahmen der übergeordneten Ziele der Lehrplanreformen beigemessen wurde, qualifizierten auch Shapiros Vorhaben des NCFMF für eine unabhängige Weiterentwicklung.²⁵ 1960 gleiste er daher seinen eigenen Film-Einführungskurs für College- und Universitätsstudierende auf, der in Organisationsstruktur, Finanzierung und Ausrichtung ganz dem Muster des PSSC folgte. Das NCFMF war ein Zusammenschluss von zehn (wiederum ausschließlich weißen und männlichen) Professoren unterschiedlicher Engineering-Departments in den USA unter Shapiros Leitung. Unterstützt durch eine Anschubfinanzierung der Ford Foundation und des ESI konnte der zweite Film *Vorticity* realisiert werden. Daraufhin wiederum konnte sich auch das NCFMF – wie wenige Jahre zuvor das PSSC – eine Finanzierung von der National Science Foundation über 300000 Dollar sichern und so selbst eines der umfangreichsten Lehrfilmprogramme in der US-Geschichte realisieren. Dabei konnte es auf die personellen und räumlichen Ressourcen des ESI zurückgreifen²⁶ – allen voran auf die Filmregisseure und das Filmstudio in Watertown, das in ein altes Kino eingebaut worden

23 Vgl. Simon, »The Transnational Physical Science Studies Committee« (2019), S. 317–326.

24 Die Literatur zum kulturellen Kalten Krieg und der CIA ist mittlerweile umfassend. Gilbert Scott Smith, Richard J. Aldrich oder Peter Coleman sind Namen in diesem Kontext. Zur Ford und Asia Foundation vgl. Frances Stonor Saunders, *The Cultural Cold War. The CIA and the World of Arts and Letters*, New York: New Press 2001, S. 138–139.

25 Anonym, »A Progress Report 1956–1962. The Physical Science Study Committee and Educational Services Incorporated«, in: MIT Archives, PSSC Records, MC-0626, Box 1.

26 National Science Foundation (Hg.), *Released Textbooks, Films and Other Teaching Materials*, Washington, DC: US Department of Health, Education & Welfare 1968, S. 54–58.

war. Am PSSC und am NCFMF zeigt sich daher das intime Verhältnis zwischen nationaler Agenda und Globalisierung in Zeiten des Kalten Krieges.²⁷ Insbesondere wissenschaftliches und technologisches Wissen war ein zentrales nationales Gut im Wettstreit der Systeme. Die Zurverfügungstellung dieses Wissens im Rahmen von Lehrprogrammen legitimierte wiederum den globalen Einfluss, den die USA für sich reklamierten.

Evaluationen aus der Mitte der 1960er Jahre – also noch bevor alle NCFMF-Filme produziert worden waren – zeigen, dass fast alle großen US-amerikanischen Universitäten und Hochschulen die 16mm- und 8mm-Filme ausgiebig verwendeten und die Filme über verschiedene Disziplinen und Kurse hinweg mit diversen Anspruchsniveaus in den Lehrplänen verankert waren. Darüber hinaus heißt es in einem Newsletter des NCFMF aus dem Jahr 1964, dass 45 % der Verkäufe und Ausleihen auf nicht-akademische Institutionen zurückgehen: von großen Industrieunternehmen wie General Motors oder Whirlpool, über zivile Einrichtungen wie Krankenhäuser, bis hin zu militärische Forschungseinrichtungen wie der NASA oder der US-Army. Diese nutzten die Filme, um ihre Mitarbeiter:innen fortzubilden.²⁸ Eine sehr zurückhaltende Schätzung von 1968 ergab, dass allein in den USA fast eine halbe Million Menschen die NCFMF-Filme gesehen hatten. Im Zuge der geopolitischen Funktionalisierung der neu entwickelten Curricula wurden zudem auch Shapiros Filme weltweit verbreitet und in andere Sprachen synchronisiert. Bereits 1968 sind Verkäufe in 22 Staaten dokumentiert.²⁹ Anders gesagt: abermals in ihrer Geschichte gerieten die Strömungsaufnahmen aus den 1920er Jahren zu Blockbustern – diesmal zu US-amerikanischen und internationalen Blockbustern des Ingenieurstudiums und der Industrie.

Aus medienhistorischer Sicht sind dabei insbesondere die 133 8mm-Filmkassetten interessant (Abb. 6.2). Das Format kam überhaupt erst 1962/63 auf den Markt, und das NCFMF vertrieb Kassetten in enger Zusammenarbeit mit Technicolor. Technicolor zielte mit der Kooperation darauf ab, neue Absatzmärkte zu erschließen, denn die Lehrfilme waren zugleich Werbung für den privaten Einsatz der 8mm-Technologie. Für das NCFMF und das ESI bedeuteten das neue Format Kosteneinsparung und eine erhöhte Zirkulation der Filme durch eine vereinfachte Handhabung. Denn die sogenannten »Magi-Cartridges« mit jeweils 50-fuß Kodachrome-8mm-Film mussten nur in spezielle Projektoren eingelegt und konnten mit einem einzigen Knopfdruck

27 John Krige, »Book Review: David Pretel and Lino Camprubi, eds. Technology and Globalisation: Networks of Experts in World History«, in: *HoST – Journal of History of Science and Technology* 14/2 (2020), S. 115–119, <https://doi.org/10.2478/host-2020-0018>.

28 Anonym, »Newsletter No. 4 of the NCFMF«, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387, Box 12.

29 Charles Conn an Alfred Borg (NSF), 24. 1. 1968, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387, Box 12.

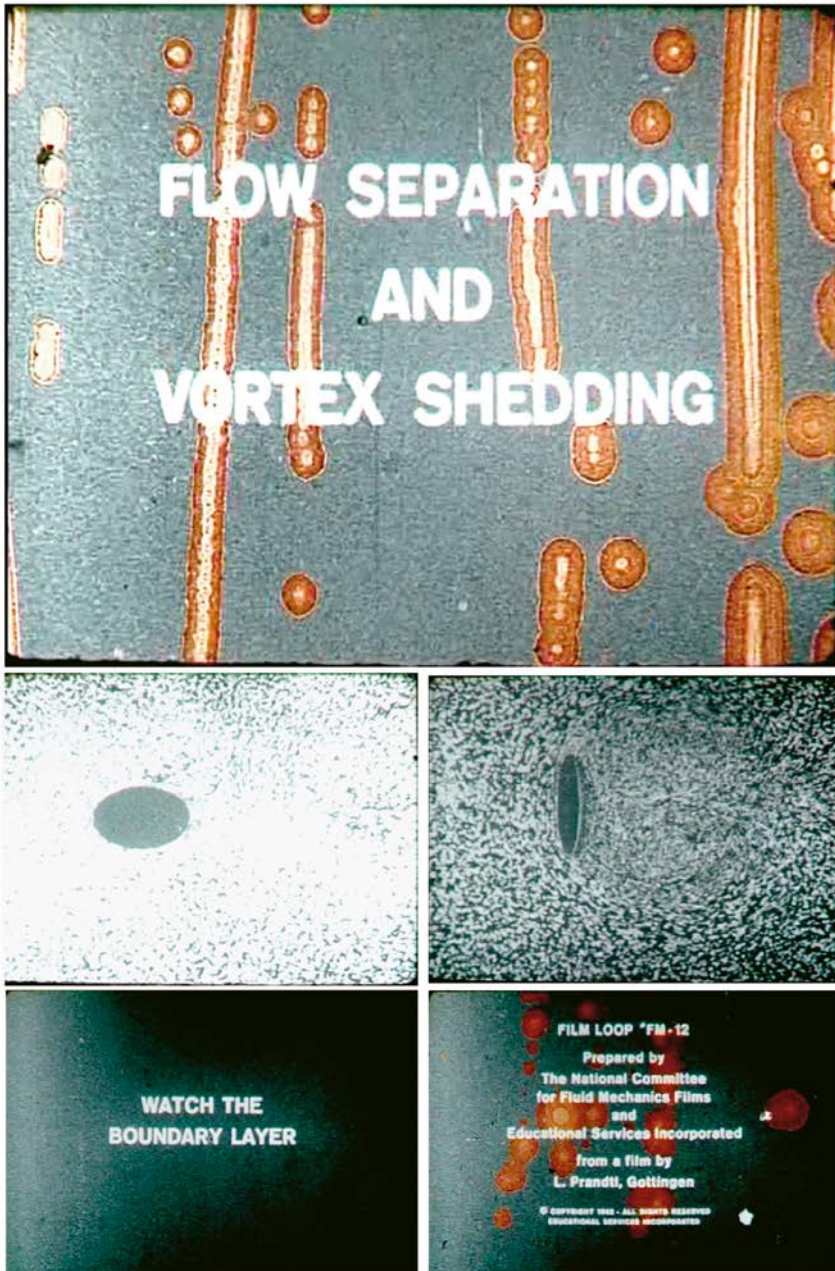


Abb. 6.2: Zahlreiche Szenen aus den Strömungsfilmen sind auch in den 8mm-Filmkassetten des NCFMF verwendet worden. Die vielfältigen erkennbaren Bildartefakte (Kratzer, Löcher, Verzerrungen, etc.) sind auf die Anfälligkeit des 8mm-Materials zurückzuführen.

gestartet werden. Dadurch entfiel das zeitraubende, materialinvasive und voraussetzungsreiche Hantieren mit Filmrollen. Das Format bot sich insbesondere für kleine Gruppen oder Einzelunterricht an. In zahlreichen Bibliotheken konnten die Filmkassetten zusammen mit einem Projektor ausgeliehen oder direkt in der Bibliothek angesehen werden. Im Department für Ingenieurwesen der Universität von Michigan in Ann Arbor wurde sogar ein 8mm-Projektor in einem Korridor an der Wand montiert: »for push-button viewing of any passers-by«, wie der Institutsleiter begeistert in einem Brief an das NCFMF schrieb.³⁰

Mit dem Einsatz von Film als Instrument der Regierung – in diesem Fall für die Geopolitik und Rekrutierung – sind das PSSC und Shapiros NCFMF Teil jener längeren Geschichte der Funktionalisierung von Film für staatliche und politische Zwecke, um die es bereits in den vorherigen Kapiteln ging. Wie im vierten Kapitel ausgeführt, wurden spätestens mit der Etablierung des 16-mm-Formats im Laufe der 1930er Jahre in einigen europäischen Ländern robuste Netzwerke zur Distribution von Lehrfilmen aufgebaut. Und auch in den USA bildeten sich vergleichbare Institutionen, die wiederum auf die Tradition der Lehr- und Aufklärungsfilm seit den 1910er Jahren zurückgingen.³¹ Film galt diesen Institutionen als effizientes Mittel zur Instruktion und sollte in unterschiedlichem Ausmaß zur Beeinflussung der Menschen im Sinne politischer Zielstellungen dienen.³² Während des Zweiten Weltkrieges wurde die massenmediale Instruktion mittels Lehr- oder Propagandafilmen dann zu einer geteilten sozialen Erfahrung. PSSC und NCFMF hingegen sind im Kontext eines erneut gesteigerten Wachstums audiovisueller Bildungsangebote der Nachkriegszeit zu verorten.³³ Nicht nur Universitäten und Filmproduktionsfirmen, sondern auch Organisationen aus verschiedensten gesellschaftlichen Bereichen stiegen in das Lehrfilm-Business ein, von der UNESCO bis hin zum Bell Telephone Lab. Das Spektrum der Produktionen erstreckte sich inhaltlich von Live-Mitschnitten medizinischer Operationen bis hin zum Meta-Lehrfilm über die Lehrfilmproduktion, wie das Beispiel *Making Films That Teach* (1954) aus der *Encyclopedia Britannica* Films zeigt.

30 Chia-Shun Yih an Charles Conn, 1. 12. 1968 und weitere Korrespondenzen von 1968, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387, Box 12.

31 Gregory A. Waller, »Projecting the Promise of 16mm, 1935–45«, in: Acland, Wasson (Hg.), *Useful Cinema* (2011), S. 125–148.

32 Devin Orgeron, Marsha Orgeron, Dan Streible, »A History of Learning with the Lights Off«, in: Dies. (Hg.), *Learning With the Lights Off. Educational Film in the United States*, Oxford: Oxford University Press 2012, S. 15–66, hier S. 26.

33 Kirsten Ostherr, »Health Films, Cold War, and the Production of Patriotic Audiences. The Body Fights Bacteria«, in: Acland, Wasson (Hg.), *Useful Cinema* (2011), S. 103–122, hier S. 103.

In den USA waren die 1950er und 60er Jahre die Hochphase der Lehrfilmproduktion mit mehr als 10000 neuen Filmen pro Jahr.³⁴

Die strukturellen Ähnlichkeiten der Wiederverwendung der Göttinger Strömungsaufnahmen als Lehrfilme durch die Rfdu/RWU und im NCFMF liegen auf der Hand. In beiden Institutionen wurden wissenschaftliche Filmaufnahmen politisch instrumentalisiert, um technisches Wissen wirksamer als in Textform zu verbreiten und damit zugleich für die Kriegsindustrie rekrutierbare Subjekte zu formen. Die Lehrfilme der Rfdu/RWU und des NCFMF sollten die Denk- und Sehmuster einer kommenden Generation von Wissenschaftler:innen und Ingenieur:innen prägen und sie standen für ein geopolitisches Programm. Gleichzeitig unterscheiden sich die beiden Institutionen grundlegend in der narrativen und ästhetischen Machart ihrer Filmproduktion, in ihrer Distribution und in ihren politischen Zielen. Im Vergleich mit der Rfdu lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Lehrfilme des NCFMF abstrakte Grundlagenphysik mit der Inszenierung eines neuen Typus des authentischen, nahbaren (fast immer männlichen) Physikers koppelten. Dabei wurde Wissenschaft als integriertes, unabhängiges und gänzlich unideologisches Unterfangen präsentiert und global propagiert. Als flexibles und vielfältig anzueignendes »boundary object« konnten die Strömungsaufnahmen so zum Kreuzungspunkt unterschiedlicher Nutzungsgruppen werden.³⁵ Während bei der Rfdu/RWU die Gleichschaltung des Bildungswesens und beim IWF die Integration in die internationale Forschungsgemeinschaft über ein enzyklopädisches Filmprojekt auf dem Plan standen, waren die Wissenschaftsvermittlungsfilme Shapiros Teil eines kulturell-psychologischen Krieges der USA mit der Sowjetunion. Es zeigt sich also an auch an der Geschichte der Strömungsaufnahmen, was Mitchell Ash generalisierend festgestellt hat, dass »wissenschaftliche Ressourcenensembles im Prinzip politisch multivalent sind – d. h., es lassen sich mit deren Hilfe Allianzen mit zuweilen sehr unterschiedlichen Staatsformen konstruieren.«³⁶

34 Orgeron, Orgeron, Streible, »A History of Learning« (2012), S. 52. Allein im Jahr 1969 sollen laut dem Marktforscher Thomas Hope gar mehr als 14000 Lehrfilme produziert worden sein.

35 Susan Leigh Star, James Griesemer, »Institutional Ecology, 'Translation' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39«, in: *Social Studies of Science* 19/3 (1989), S. 387–420, hier S. 393, <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>. Griesemer und Star zielten mit ihrem vielzitierten Begriff auf die mehr oder weniger simultane Nutzung durch verschiedene Gruppen ab.

36 Mitchell Ash, »Wissenschaft und Politik als Ressourcen für einander«, in: Rüdiger von Bruch, Brigitte Kaderas (Hg.), *Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts*, Stuttgart: Steiner 2002, S. 32–51, hier S. 33; vgl. Mitchell Ash, »Wissenschaft und Politik. Eine Beziehungsgeschichte im 20. Jahrhundert«, in: *Archiv für Sozialgeschichte* 50 (2010), S. 11–46.

Die Multivalenz bedeutete allerdings auch in diesem Falle nicht, dass die Wiederverwendung der deutschen Strömungsaufnahmen in den USA eine Selbstverständlichkeit war. Ihr ›Fließen‹ über den Atlantik war keine laminare Bewegung von hier nach dort. Entgegen der verbreiteten Vorstellung, dass tendenziell universelles Wissen problemlos über Nationengrenzen fließt, gilt auch hier John Kriges Feststellung: »If knowledge moves, it is because people who [...] have the power and the motivation to set it in motion, to navigate the institutions that impede or facilitate its move across borders, and to creatively adapt it to local needs at the receiving end.«³⁷ Zu diesen (einzelnen) machtvollen Menschen, von denen Krige spricht, hinzuzufügen sind wie beim NCFMF die Regierungen, Förderstrukturen und Distributionsmedien. Im Folgenden wollen wir daher noch etwas genauer betrachten, was dem Wissen auf Film in seiner spezifischen Medialität und Materialität die Überbrückung von geografischen und politischen Klüften ermöglichte.

Stil und Flow: der Göttinger Strömungsfilm im NCFMF

Die Geschichte von Shapiros Appropriation beginnt 1959. Bereits in seinen ersten Entwürfen für einen Lehrfilm taucht ein Hinweis auf den »Prandtl film« auf. Wie einige Bleistiftnotizen im Skript deutlich machen, plante er zunächst, zwei Ausschnitte daraus zu verwenden.³⁸ In den fertigen Film, *Fluid Dynamics of Drag*, der schließlich vier Teile umfassen und insgesamt zwei Stunden Laufzeit haben sollte, schafften es dann allerdings nur 24 Sekunden. Sie zeigen die Grenzschichtablösung am hinteren Ende des sogenannten Bluff-Body, also just jenen Ausschnitt, den Prandtl bereits kurz nach Fertigstellung seines Films bei einer Konferenz als visuelle Evidenz heranzog, um die bis dahin mittels seiner Grenzschichttheorie nicht mathematisch beschreibbaren Phasen der Wirbelbildung zumindest qualitativ durch visuelles Material zu belegen.

Es lässt sich nicht eindeutig rekonstruieren, auf welchem Wege Shapiro an das Göttinger Filmmaterial gelangt ist. Nach unserer Kenntnis ist keine Korrespondenz zwischen ihm und Prandtl erhalten geblieben. Aus den wiederverwendeten Szenen können wir jedoch rekonstruieren, dass Shapiro

37 John Krige, »Introduction: Writing the Transnational History of Knowledge Flows in a Global Age«, in: Ders. (Hg.), *Knowledge Flows in a Global Age: A Transnational Approach*, Chicago: University of Chicago Press 2022, S. 1–30, hier S. 10, <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226820378-001>.

38 »Script for a Motion Picture on Fluid Dynamics«, ohne Datum, erstellt nach dem zweiten Draft am 12. 10. 1959, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387.

35 mm-Filmmaterial aus Prandtls Labor zur Verfügung gehabt haben muss und nicht nur eine 16mm-Verleihkopie des IWF mit beschnittenen Rändern. Möglicherweise hatte er sogar Material zur Hand, das Prandtl während seiner Weltreise in den 1920ern in den USA hinterlassen hatte. Möglich ist auch, dass das Filmmaterial aus Göttingen über Shapiros Kollegen am Department for Mechanical Engineering, Jacob Den Hartog, ans MIT gekommen ist. Nach seiner Emigration aus Holland in den 1920er Jahren hatte Den Hartog im Mechanics Department der Westinghouse Electric and Mechanical Company gearbeitet und dort Oskar Tietjens kennengelernt, der die Aufnahmen am KWI in Göttingen mitverantwortete. In der Folge übersetzte er nicht nur das Lehrbuch, das Tietjens auf der Basis der Vorlesungen Prandtls herausgegeben hatte,³⁹ sondern ging 1931 für ein Sabbatical an Prandtls Institut nach Göttingen. Dort drehte er selbst Filme in den Wasserkanälen mit zirkulierenden Zylindern, die den Aufnahmen von Prandtl und Tietjens äußerst ähnlich sehen. Jedenfalls belegt der Brief eines MIT-Studenten an Prandtl mit der Bitte, den Film kaufen zu können, dass *Production of Vortices* bereits in den 1930er Jahren Teil des Unterrichts am MIT gewesen ist.⁴⁰ Prandtls Film muss allerdings zu dieser Zeit im Ingenieurscurriculum eine seltene Ausnahme gewesen sein, denn es existierten keine größeren Lehrfilminitiativen im Bereich der Fluidodynamik. Diese Lücke sollte Shapiro mit seinem NCFMF erst in den 1960er Jahren schließen.⁴¹ Wie es bei solchen Forschungslücken üblich ist, lehnte sich Shapiro dabei an Vorgänger – wie eben an Prandtls Film – an.

Die wenigen Schnipsel aus den Strömungsaufnahmen waren für Shapiro aber nicht nur eine Hommage an einen Vorgänger, sondern vielmehr ein programmatisches Vorbild. In den Filmen des NCFMF (und auch des PSSC) kommt kaum Material zum Einsatz, das nicht im Studio in Watertown gedreht wurde. Alleine deswegen ist die Verwendung der Göttinger Aufnahmen etwas Besonderes. Im Vorwort zum Buch *Shape and Flow* – »the film in print« wie es dort heißt – schreibt Shapiro dann explizit: »I am indebted [...] to the late Ludwig Prandtl for classic film sequences now thirty years old as well as the inspiration of his style.«⁴² Shapiro verortet sein eigenes

39 Oskar Tietjens, *Applied Hydro- and Aeromechanics. Based on Lectures of Prof. Ludwig Prandtl*, New York, London: McGraw-Hill Book 1934.

40 Edgardo N. Accinelli an Prandtl, 20. 3. 1939, AMPG I/44/209.

41 Etwa zur gleichen Zeit wie Shapiro begann Hunter Rouse von der University of Iowa ein weiteres vom NSF finanziertes Lehrfilmprogramm für Strömungsdynamik aufzugleisen. Material aus Göttingen taucht darin nicht auf, vgl. Brief von Hunter Rouse an den Course Content Improvement Section des NSF, 22. 11. 1965, bereitgestellt vom IIHR-Hydrosience & Engineering, University of Iowa.

42 Ascher Shapiro, *Shape and Flow*, New York: Anchor Books 1961, S. xv.

Filmprogramm in der Tradition Prandtls und konstatiert somit selbst eine Verwandtschaft, die über die Verwendung einiger Sequenzen hinausgeht. Indem er seine inhaltliche und stilistische Verpflichtung den Filmaufnahmen gegenüber betont, deutet er eine Beziehung zu ihnen an: Dank dieser Aufnahmen ist er selber zum Filmemacher geworden. Dieses gemeinsame Werden mit den Filmbildern verlangt eine gesonderte Interpretation.

Zunächst lässt sich festhalten, dass die Konstruktion einer patrilinearen Ahnenreihe, wie Shapiro sie hier von Prandtl ausgehend zu sich zieht, eine übliche Praxis in den Wissenschaften war und ist. Auch die Zitation von Ludwig Prandtl durch einen Professor für Strömungslehre ist in den 1950er und 60er Jahren nichts Außergewöhnliches. Ein Blick in die einschlägigen Fachmagazine jener Zeit, etwa das *Journal of Fluid Mechanics* oder *Physics in Fluids*, macht deutlich, dass die Prandtl'schen Begriffe und Erkenntnisse die fachlichen Diskussionen in den 1960er Jahren prägten und anleiteten – und das nicht nur, weil Zahlen und Theoreme seinen Namen tragen. Viele Beiträge beschäftigten sich auch im engeren Sinne mit den Fragenkomplexen, die Prandtl aufgeworfen hatte (wie dem ersten Einsetzen einer Strömungsinstabilität oder dem vollständigen Umschlag zur Turbulenz) oder auch mit Phänomenen, die im Spezifischen sein Film visuell herauspräparierte (etwa Spezialfälle der zweidimensionalen Grenzschichtentwicklung an durch fluide bewegte Objekte oder rotierenden Zylindern).⁴³ In den Standardlehrwerken zur Fluidodynamik wiederum ist Prandtl in dieser Zeit allgegenwärtig, nicht zuletzt durch das bereits erwähnte Lehrbuch, das 1957 durch die US-amerikanische Engineering Societies Library neu auf Englisch aufgelegt wurde.⁴⁴

An dem Zitat ist jedoch besonders, dass Shapiro auf den Stil Prandtls rekurriert. Shapiro hebt darauf ab, dass er von Prandtl nicht einfach nur eine Theorie oder eine Methode übernimmt, sondern etwas, das quer zur Unterscheidung von Inhalt und Praxis steht. Zwar deutet nichts darauf hin, dass er hier explizit oder implizit auf einen bestimmten Stilbegriff Bezug nimmt, wie er in der Kunst- oder Wissenschaftsgeschichte theoretisiert worden ist – man denke an Ludwik Fleck oder ähnliche Konzepte wie Martin Jays »scopic regimes«, James Elkins »visual domains« oder Charles Goodwins

43 Zur Nachwirkung Prandtls vgl. Michael Eckert, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg: Springer 2017, S. 343–350.

44 Oskar Tietjens, *Fundamentals of Hydro- and Aeromechanics. Based on Lectures of L. Prandtl*, New York: Dover 1957 [1934]; Ders., *Applied Hydro- and Aeromechanics. Based on Lectures of L. Prandtl*, New York: Dover 1957 [1934].

»professional vision«. ⁴⁵ Dennoch lässt sich sagen, dass Shapiro hier mit Stil auf etwas Charakteristisches referiert, auf einen visuellen Code und eine Darstellungsart, die ihn die Strömung auf eine bestimmte Weise sehen ließ und die nun andere in eine bestimmte Weise des Sehens einführen soll. Um diese Tradierungsbewegung zu unterstreichen, verleiht Shapiro dem Filmmaterial gar das Attribut des Klassischen, als würde es sich um ein künstlerisches Werk handeln.

Shapiros Aneignung lässt sich folglich als Kanonisierung der als tradierungswürdig befundenen Bilder seines Faches sowie als Konsolidierung einer Sehweise von Strömung interpretieren. Indem er Prandtls Filmbilder für sein eigenes Lehrfilmprogramm reaktiviert, nimmt er auch Bezug auf seine eigene visuelle Formierung und formiert zugleich ein (kollektives) wissenschaftliches Bildgedächtnis. Es zeigt sich folglich hier, dass ein Zugang zum visuellen Gedächtnis, den Blümlinger im Found-Footage-Film in den Künsten erkannt hat, durchaus auch im wissenschaftlichen Filmzitat gegeben ist. Bei Shapiros Aneignung deutet nichts mehr auf die Produktionsmethoden der Strömungsaufnahmen hin, geschweige denn auf die Unsicherheiten ihrer Auswertung und die Zufälligkeiten ihrer Überlieferung, kurz auf ihre epistemische Historizität. Aus den Partikelbewegungen im Wasserkanal, die sich mittels Licht aus den Bogenlampen in die Silberschicht des Filmmaterials in einer Liesegang und später eine ICA Kamera eingeprägt hatten, sind in der Fachcommunity akzeptierte Phänomene geworden. Sie waren nun visuelle Tatsachen und konnten als solche zitiert werden. Zugleich erhielten die Filmbilder durch die schnipselhafte und rekontextualisierende Wiederverwendung ikonischen Status, vergleichbar mit einigen anderen immer wieder abgedruckten wissenschaftlichen Fotografien – wie beispielsweise den Geschossfotografien Ludwig Machs ⁴⁶ oder den Fotos, mit denen Prandtl seine Grenzschichttheorie erstmals unterfütterte. Spätestens mit der Rezirkulation in den NCFMF-Lehrfilmen und den 8mm-Kassetten wird deutlich, dass die Aufnahmen zu Konstanten der Ausdrucksformen für Strömungsbilder gerieten und eine eigene Abbildungstradition wenn nicht schufen, so mindestens festigten und weiterführten.

45 Für eine Übersicht der »multidisziplinären Wiedergeburten des Stilbegriffs« mit besonderem Fokus auf den Stil in den Wissenschaften vgl. Ina Heumann, *Gegenstücke. Populäres Wissen im transatlantischen Vergleich (1948–1984)*, Wien, u. a.: Böhlau Verlag 2014, S. 119.

46 Vgl. Christoph Hoffmann, »Bildmaterial: Bearbeiten, Auswerten, Verbrauchen«, in: Inge Hinterwaldner (Hg.), *Einwegbilder*, Leiden: Wilhelm Fink 2016, S. 155–174.

Shapiro reflektierte über die Aufgabe und Funktionsweise des Lehrfilms. Interessant ist an diesen Reflexionen vor allem, welche Rolle er den Aufnahmen von Experimenten, wie etwa den Strömungsaufnahmen, dabei zuwies. Denn sie waren ihm zufolge zentral für die Überzeugungs- und Mobilisierungskraft des fertigen Lehrfilms.

Im *Journal of Engineering Education* vom März 1962 ging Shapiro auf die Frage ein: »Why Films are Needed?«⁴⁷ Darin beschreibt er die Ausgangslage und Aufgabe der Curriculumsreformen insofern, als das beschleunigte Tempo des technologischen Wandels die Notwendigkeit schaffen würde, den naturwissenschaftlichen Lehrplan in Richtung »deeper and broader foundations« zu reformieren.⁴⁸ Für Shapiro ging damit jedoch ein Problem einher. Der Anspruch, mehr Grundlagen ins Klassenzimmer zu holen, würde eine zunehmende Kluft zwischen der »complexity and abstract nature« der behandelten Modelle und den tatsächlich greifbaren physikalischen Phänomenen entstehen lassen. Anstatt diese Lücke durch einen Fokus auf die Physik von Alltagsphänomenen zu schließen, wie es die Curricula früherer Jahrzehnte propagierten (die erwähnte *life adjustment*-Pädagogik), schlägt Shapiro das gefilmte Experiment vor, um ein »intuitive grasp« des Themas zu ermöglichen. Obwohl experimentelle Demonstrationen dies grundsätzlich leisten könnten, wenn sie nicht zu teuer, zu wartungsintensiv, zu groß und zu kompliziert für den Unterricht wären, könnten Filme noch etwas darüber hinausgehendes bieten:

With the film one can offer an unsurpassed view of an experiment: closeups, long shots, views from every angle, slow motion, animation, all these help the viewer to grasp the situation completely and easily and to have a feeling of close presence which more than makes up for the loss of plastic quality of the experiment in vivo.⁴⁹

Shapiro begründete die besondere Leistung von Film folglich über dessen medienspezifische Gestaltungsmittel. Das Medium Film gewährleiste eine ganz spezifische Teilhabe am Experiment, die andere Medien nicht liefern könnten. Diese Teilhabe würde die von ihm eingeforderte Brücke zwischen Abstraktheit und Konkretheit schlagen. Folglich verstand er seine Filme als

47 Ascher Shapiro, »Motion Pictures for the Engineering Sciences«, in: *Journal for Engineering Education* 52/7 (1962), S. 474–477.

48 Ebd., S. 474.

49 Ebd., S. 475.

»demonstration experiment films«.⁵⁰ Shapiro zog in seinen Überlegungen ein häufig theoretisiertes Merkmal von Film heran: dessen Fähigkeit, etwas Fernes nahezubringen und damit die Betrachtenden quasi körperlich zu affizieren.⁵¹ Die physische Erfahrbarkeit von Film wollte Shapiro einsetzen, um ein Gefühl der »Präsenz« der abstrakten mathematischen Modelle zu erzeugen. Während die Filme zu großen Teilen von didaktischer Überdeutlichkeit bestimmt waren, sollten sie in den Aufnahmen von Experimenten visuell packend sein und die Zuschauenden ergreifen.

Shapiros Einsatz von Prandtls Filmausschnitten ist exemplarisch für seine Ideen von den originären Möglichkeiten von Film, exemplarisch dafür, wie er »[a] feeling of presence« erzeugen wollte und wie auf diese Weise die Lücke zwischen unsinnlicher Modellierung und greifbaren Phänomenen geschlossen werden sollte. In seinem Film *Vorticity* verquickte er ein abstraktes Theorem, das Kelvin-Theorem, mit den Filmbildern des in Göttingen durchgeführten Experiments. Es liegt nahe zu schlussfolgern, dass er in den Strömungsaufnahmen genau jene ästhetische Qualität fand, die ihm zufolge ein Gefühl der Präsenz vermitteln konnte.⁵²

Wie wir auch schon im vierten Kapitel zur RfdU gezeigt haben, ging mit der Reproduktion des Strömungsexperiments auf Zelluloid durch Prandtl eine Ästhetisierung des Experiments einher, die die Potentialität beinhaltete, es für eine breite Rekrutierung zu funktionalisieren. Shapiro setzte das auf diese Weise ästhetisierte Experiment ein, um den Herausforderungen der neuen inhaltlichen und institutionellen Komplexität der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts und ihrer verteidigungsbezogenen Anwendungen zu begegnen. Seine Lehrfilme gaben dem hochspezialisierten und militarisierten Bestreben der Wissenschaft des Kalten Krieges ein verzauberndes Moment. Die Verwendung von Bewegtbildern des Experiments ermöglichte es, die komplexen und gefährlichen Realitäten der nationalen Rüstungsforschung mit einem verführerischen Mantel zu überziehen. Es waren folglich originäre Eigenschaften des Filmischen, die im Falle des NCFMF eine Verbindung von Strömungsdynamik, Wissenschaftsvermittlung und Rekrutierung ermöglichten.

50 Vgl. Ascher Shapiro, »Motion Pictures of Fluid Mechanics Phenomena«, in: *Bulletin for Mechanical Engineering Education* 2 (1963), S. 61–65.

51 Insbesondere die phänomenologischen Ansätze der Filmtheorie haben diese Effekte theoretisiert, vgl. Vivian Sobchack, *Carnal Thoughts: Embodiment and Moving Image Culture*, Berkeley: University of California Press 2004.

52 Der Präsenzbegriff ist in den letzten 30 Jahren in den Geisteswissenschaften als Gegenkonzept zu den lange Zeit vorherrschenden semiotischen Kulturtheorien viel zitiert worden, vgl. insb. Hans Ulrich Gumbrecht, *Unsere breite Gegenwart*, Berlin: Suhrkamp 2010.

In den Archivalien gibt es keine Hinweise darauf, dass Shapiro die (geo-)politische Einsetzbarkeit seiner Filme reflektierte. Festhalten lässt sich jedoch, dass sich Shapiro trotz seines Engagements in den militärischen Forschungsprojekten der Kriegs- und Nachkriegszeit im Laufe seiner Karriere zunehmend von der militärischen Forschung distanzierte. Darin gleicht Shapiros Biografie der von einigen anderen Physikern und Ingenieuren jener Zeit.⁵³ Ab den 1960er Jahren – und damit zeitgleich mit den immer heftigeren Campus-Protesten gegen geheime Militärforschungen in Universitätslaboren – begann Shapiro sich zivileren und konkret biomedizinischen Anwendungen der Strömungsforschung zuzuwenden.⁵⁴ 1970 lancierte er den entscheidenden Vorstoß am MIT, sich von dem umstrittenen und an die Universität angegliederten Draper Lab zu trennen, das an der Entwicklung der Zielsteuerung von Interkontinentalraketen beteiligt war.⁵⁵ Ein Fotoporträtvergleich zeigt, welchen Wandel Shapiro vor allem im Laufe der 1960er Jahre vollzogen hatte (Abb. 6.3 und 6.4). Das strenge militärische Aussehen mit Fliege und kurzgeschorenen Haaren, wie es ein Bild von 1960 dokumentiert, wich einem jovialen modebewussten Auftritt im Jahre 1974. Über dem gestreiften und aufgeknöpften Leinenhemd, das die nahezu gleiche Musterung wie die Hose aufweist, trägt der nun fast langhaarige Shapiro eine lose gebundene Krauwatte, deren Motiv mit seinem Forschungsfeld spielt: Wirbel, kleine und große, in chaotischer Verteilung.⁵⁶

Aber auch wenn es zunehmend weniger Shapiros persönlicher Agenda entsprach, mehr Studierende für die militärisch relevante Forschung zu mobilisieren, investierte er viel Energie, um die Anziehungskraft der Filme sicherzustellen und ihren Verkauf anzukurbeln. Shapiro sorgte sich darum, das vielfältige Werbematerial zu den NCFMF-Filmen auf dem neuesten Stand zu halten. Und stets trieben ihn die aktuellen Verkaufszahlen seiner Filme

53 Sarah Bridger, *Scientists at War. The Ethics of Cold War Weapons Research*, Cambridge, MA: Harvard University Press 2015.

54 Livesey, Degree Congregation, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387. Shapiro widmete sich auch im Rahmen einer Honorartätigkeit für die Sportindustrie der Optimierung der Flugbahn von Golfbällen.

55 Ascher Shapiro, »A Position Paper On Retention Or Divestiture Of The Special Laboratories, February 1970«, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387. Mehr dazu bei Wolfe, *Freedom's Laboratory* (2016), Kap. 7; Bridger, *Scientists at War* (2015), Kap. 6. Ob diese symbolische Trennung letztlich zu einer größeren Unabhängigkeit der Wissenschaft von militärischen Interessen oder militärischer Finanzierung geführt hat, sei hier dahingestellt.

56 Mehr zur Rolle des Porträts in den Wissenschaften vgl. Vogel, Nökel, *Gesichter der Wissenschaft* (2019).

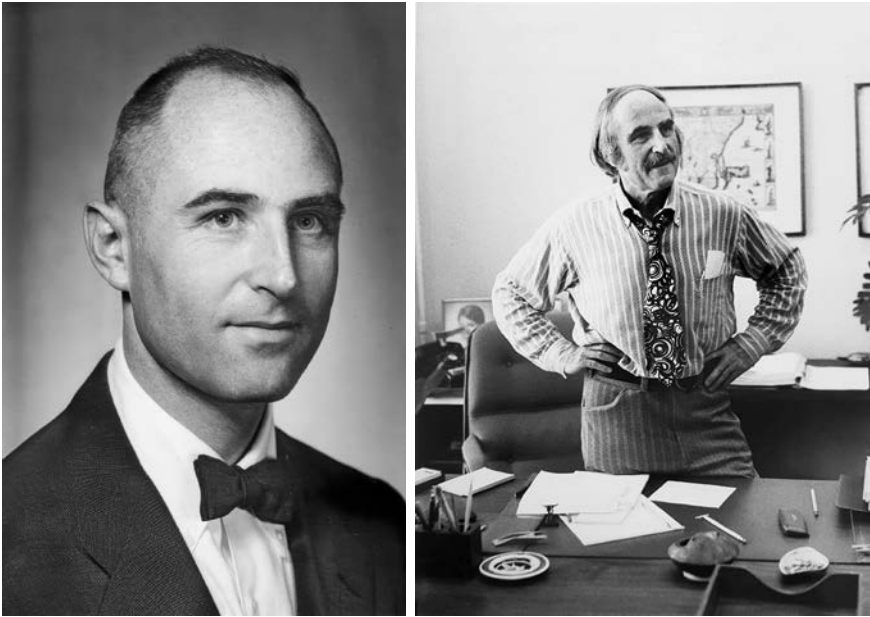


Abb. 6.3 und 6.4: Der Vergleich zweier Porträts Shapiros (links von 1962, rechts von 1974) zeigt seine Wandlung in den 1960er Jahren und unterstreicht visuell die Veränderung seiner Einstellungen bezüglich Militärforschung.

um. In einem Brief an die Encyclopedia Britannica Educational Corporation, die ab 1966 den Vertrieb der Filme übernahm, bringt Shapiro es auf den Punkt: »I would like to see both Encyclopedia Britannica and the MIT Press make some money.«⁵⁷

Wie andere Großvorhaben wissenschaftlicher Lehrfilme dieser Zeit waren die NCFMF-Filme gekonntes Wissenschaftsmarketing. *Fluid Dynamics of Drag* war zum Beispiel der einzige PSSC-Film, der mit einem Buch zum Film erschien, dem bereits erwähnten »film in print«, in dessen Vorwort Shapiro Prandtls »style« heranzieht. Das Cover des Buches mit dem schmissigen Titel *Shape and Flow* zitiert den Strömungsfilm (Abb. 6.5 und 6.6). Die Grenzschichtablösung wurde auf ein Linienpiktogramm reduziert. Entworfen hat das Cover Robert Flynn, der weithin für seine Zusammenarbeit mit dem Jazz-Label Impulse Records bekannt ist. Darüber hinaus arbeitete das NCFMF wie alle anderen Filmprogramme des ESI mit talentierten

⁵⁷ Shapiro an John Field (EBEC) und Rebecca McGovern (MIT Press), 18. 7. 1972, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387, Box 12.

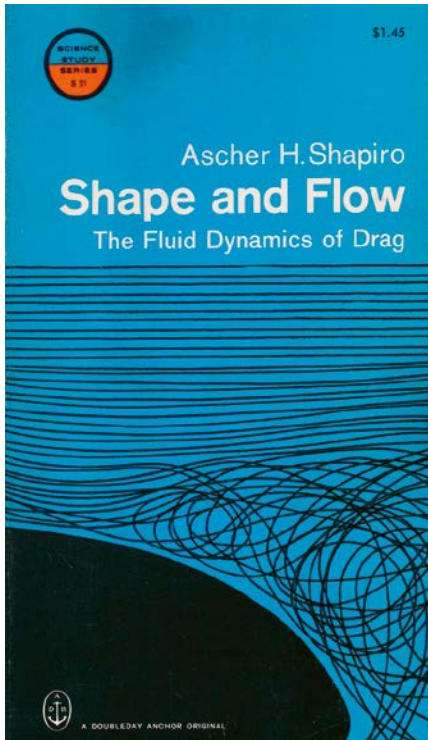
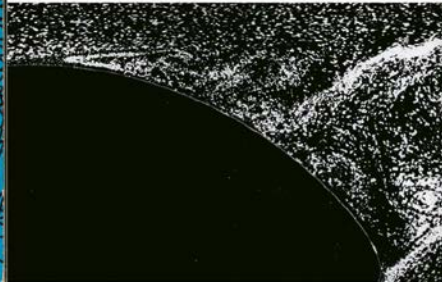


Abb. 6.5 und 6.6: Auch das Cover von Ascher Shapiros *Shape and Flow* von 1961 (links) war vom Strömungsfilm inspiriert (rechts).



Filmemachern zusammen, die das Massenpublikum anzusprechen wussten. Jack Churchill, der Shapiro bei *Vorticity* als ausführender Regisseur zur Seite stand, war später Kameramann beim Hollywood-Film *ABBA: The Movie* (1977). Diese populärkulturellen Bezüge weisen darauf hin, dass Shapiro in Zusammenarbeit mit seiner Produktionsfirma versuchte, seine Lehrfilme zu einem Konsumgut zu machen. Das fluiddynamische Wissen wurde in ein sorgfältig entworfenes und vermarktbare Produkt verwandelt, das in den 1960er Jahren die Wünsche moderner Verbraucherinnen ansprach. Auch die erwähnte Zusammenarbeit mit Technicolor bei den 8mm-Loops lässt sich hier einordnen.

Wie auch schon Prandtl erkannte Shapiro das Potenzial der Strömungsaufnahmen, Attraktion zu sein und ein visuelles Begehren nach der Nahbarkeit des Abstrakten und der Greifbarkeit der mathematisch komplexen Strömungsdynamik zu stillen. Und er half dabei, die Aufnahmen zu einem Produkt zu verarbeiten, das deren Außenwirkung – vermutlich selbst im Vergleich zu den Rfdu-/RWU-/IWF-Versionen – nochmals um ein Vielfaches steigerte.

Shapiros Beziehung zu den Strömungsaufnahmen endete nicht in den 1960er Jahren. In den 1980er Jahren produzierte er den *MIT Video Course Fluid Dynamics* und sprang damit auf die neueste mediale Innovation im Bereich des Bewegtbildes auf. In dem Kurs sind nahezu alle Szenen aus dem Strömungsfilm verarbeitet, verstreut über 39 Videotapes von jeweils 50 bis 60 min. Laufzeit, die in allen damals gängigen ½inch oder ¾inch Videoformaten zu haben waren. Das Genre entspricht dem einer abgefilmten Vorlesung, in der Shapiro an Tafel und Overheadprojektor die Grundlagen der Strömungslehre erläutert. Aufnahmen von Experimenten werden dann sporadisch eingespielt (Abb. 6.7). Der Kurs zielte nicht vornehmlich auf Universitäten, sondern auf private und öffentliche Unternehmen sowie auf den Home-Video-Markt ab. Während beim NCFMF noch stets betont wurde, dass die Filme den Präsenzunterricht und die Lehrenden nicht ersetzen könnten, sollte der Videokurs nun – die Idee der 8mm-Kassetten aufnehmend – explizit zur selbstorganisierten firmeninternen oder individuellen Weiterbildung dienen.

Kommodifizierung und Kanonisierung der Strömungsfilme treten in diesem Kurs noch deutlicher zu Tage als in Shapiros früheren Formaten. Die Versprechen sind vollmundig: »A new video course [...] teaches the concepts, principles and practical applications that apply to all technologies ... old and new.«⁵⁸ Rabatte lieferten zusätzliche Anreize: Beim Kauf aller 39 Kassetten zu 17355 Dollar hätte man 2145 Dollar sparen können. Die mitreißende visuelle Qualität der Strömungsaufnahmen war dabei ein zentrales Verkaufsargument: »dramatic film footage« heißt es im Prospekt.

In den Videokursen des MIT – *Fluid Dynamics* war nur einer von mehr als 50 weiteren – spiegelt sich die finanzielle Krise der privaten Universitäten der 1980er und ihre zunehmende Marktorientierung. In einer Zeit, in der die Militärbudgets für die Forschung schrumpften, betätigten sich die Universitäten, wie unter anderem der Wissenschaftshistoriker Cyrus Mody herausgearbeitet hat, zunehmend unternehmerisch (»entrepreneurial«).⁵⁹ Während die US-Regierung von der direkten Förderung von Forschung und Entwicklung auf die Förderung von *private-public-partnerships* umstellte, entwickelten insbesondere die Physiker und Ingenieure neue Strategien, um finanzielle Unterstützung zu erhalten und ihr professionelles Renommee zu sichern.

58 »MIT Video Course Fluid Dynamics«, Werbeprospekt, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387.

59 Cyrus C. M. Mody, *The Squares: US Physical and Engineering Scientists in the Long 1970s*, Cambridge, MA: MIT Press 2023.



Abb. 6.7: Im MIT Video Course Fluid Dynamics, den Shapiro 1984 produzierte, verwendete er erneut das gesamte Filmmaterial aus den beiden Göttinger Strömungsfilmen.

Die Kanonisierung zeigt sich am Videokurs wiederum darin, dass Shapiro für diesen zahlreiche Bilder verwendet, die zuvor in dem 1982 erschienenen *Album of Fluid Motion* des britischen Strömungsforschers Milton van Dyke publiziert wurden. Wie andere Atlanten lieferte dieser eine repräsentative Auswahl von Bildern, die »die signifikantesten Forschungsgegenstände eines Faches bestimmen«.⁶⁰ Shapiro traf für den Videokurs eine vergleichbar repräsentative Auswahl, allerdings im Bewegtbild und mit den Filmen Prandtls. Bemerkenswert ist zudem, dass sich van Dyke in der Einleitung zu seinem Atlas explizit dafür entschuldigt, dass er die »beautiful photographs that Prandtl used to illustrate his papers and books« nicht auftreiben konnte.⁶¹ Ein Problem, das Shapiro mit dem Film nicht hatte.

Shapiros Filme waren nur ein sehr kleiner Baustein in den umwälzenden Veränderungen der visuellen Kultur in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die globale Expansion der Bewegtbildmedien und deren Einsatz als machtvolleres Werkzeug im Bildungswesen machten Filmaufnahmen zur

⁶⁰ Lorraine Datson, Peter Galison, *Objektivität*, übersetzt aus dem Amerikanischen von Christa Krüger, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2007, S. 17. Mehr zum van Dyke Atlas darin: S. 428.

⁶¹ Milton van Dyke, *An Album of Fluid Motion*, Stanford: Parabolic Press 1982, S. 6. Gleichwohl verwundert diese Aussage etwas. Schließlich wurden neue Auflagen von Prandtls Lehrbüchern auch in den 1980er Jahren produziert.

alltäglichen Form der Zirkulation von Wissen.⁶² Die Strömungsaufnahmen waren wiederum nur ein kleiner, wenn auch nicht ganz unwichtiger Baustein in den Lehrfilmen Shapiros. Gerade in dieser doppelten Randständigkeit vermag die Aneignung sowohl etwas über die Geschichte des Kalten Kriegs als auch die filmische Kultur der Wissenschaften zu erzählen. Der Einsatz der Wasserkanalfilme war das Ergebnis zweier gegensätzlicher gesellschaftlicher Impulse dieser Zeit: einerseits das Anliegen der Regierung, getrieben durch die angenommene äußere Bedrohung die militärisch-akademisch-geopolitischen Einflusssphären auszuweiten; andererseits die Bestrebungen der Forschenden, die Wissenschaft von den Ansprüchen und Eingriffen staatlicher Macht zu befreien.⁶³ Die Strömungsaufnahmen vermochten es in ihrer visuellen Kraft und aufgrund ihres Status als kanonisierte Grundlagenforschung diese beiden Impulse zu verbinden. In Bezug auf den Filmgebrauch in den Wissenschaften zeigt die Aneignung wiederum, dass Laborexperimente und die Phänomene, die sie in die Welt setzen, je nach ihrer medialen Form auf ganz unerwartete Weise in den Wissenschaften und vor allem darüber hinaus fortwirken können. Die Karriere der Aufnahmen legt nahe, dass die Rolle von Forschungsfilmen bei der Wissenstradierung in den Naturwissenschaften vermutlich häufig unterschätzt wird. So bleibt es ein Desiderat, der spezifischen Verquickung von Wahrnehmung, Wissen und Affekten, die etwa dem Prandtl'schen Film eine ikonische Rolle in der Strömungsforschung gesichert hat, auch in Bezug auf andere Filme nachzugehen.

Globale Distribution hoch zwei

Im Dezember 1987 schrieb der mittlerweile emeritierte Shapiro dem Institut für den Wissenschaftlichen Film Göttingen. Er bedankte sich für die Zustellung des Teilverzeichnis T (für Technik) des Filmkatalogs, nicht ohne anzufügen: »I was very pleased to see on the list so many of the films produced by the National Committee for Fluid Mechanics Films, of which I was

62 Vgl. für die allgemeine Rolle des Visuellen in den Bildungsreformen von den 1950er bis 1990er Jahren: Brian Goldfarb, *Visual Pedagogy. Media Cultures in and beyond the Classroom*, Durham, NC, London: Duke University Press 2002.

63 Für diese gegensätzlichen Impulse im Kalten Krieg vgl. Harvey M. Sapolsky, *Science and the Navy: The History of the Office of Naval Research*, Princeton: Princeton University Press 1990; Stuart W. Leslie, *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*, New York: Columbia University Press 1993.

the founder.«⁶⁴ Um Werbung für eines seiner weiteren Projekte zu machen, schickte er dem IWF außerdem eine Broschüre seines *MIT Video Course Fluid Dynamics*. Dass er sowohl in seinen Filmen für das NCFMF als auch in seinem Videokurs ausgiebigen Gebrauch von denjenigen Aufnahmen gemacht hatte, die als C 1 auch den IWF-Filmkatalog anführten, ließ er dabei gänzlich unerwähnt – obwohl er spätestens bei der Konsultation des Teilverzeichnisses den Film entdeckt haben musste.⁶⁵

Das IWF wiederum hatte bereits im Dezember 1964 den Film *Flow Visualization* aus der NCFMF-Reihe für sein Archiv gekauft.⁶⁶ Empfohlen und dem IWF zur Verfügung gestellt wurde der Film von den Bayer Farbenfabriken Leverkusen, einem der größten Chemieunternehmen der Welt. Bayer passte in das Schema der globalen Distribution der Lehrfilme des NCFMF, die auch für die Industrieforschung interessant waren. Der IWF-Referent für Physik, Günther Bekow, sichtete den Film, bewertete ihn und empfahl ihn für den Erwerb. Im Sichtungsprotokoll findet sich kein Wort über die Verwendung von Filmmaterial, das sich bereits im Bestand des IWF befand. Im Großunternehmen des IWF, das in den 1960er Jahren mehrere tausend Filme beherbergte, konnten natürlich nicht alle Mitarbeitenden den Filmbestand im Detail kennen. Dennoch ist es unwahrscheinlich, dass dieses Gründungsdokument sowohl den geschulten Augen des Fachreferenten für Physik entging (vor allem, da der Bestand physikalischer Filme vergleichsweise klein war), als auch den Augen Gotthard Wolfs, der den Anschaffungsvorschlag unterzeichnete und der den Strömungsfilm von Prandtl gut kannte. Das IWF schlug dem NCFMF sogar vor, synchronisierte Fassungen der NCFMF-Filme zu erstellen, ohne auf das Material aus C 1 einzugehen. Diese Synchronisationen wurden – aus uns nicht bekannten Gründen – jedoch nie produziert. Trotzdem kaufte das IWF 19 weitere NCFMF-Filme, als letztes den Film *Vorticity* im Jahr 1985, und sicherte sich die Lizenz zum nicht-kommerziellen Verleih der Filme in der Bundesrepublik.⁶⁷ In all diesen Überschneidungen und Kontakten von NCFMF und IWF waren Urheberrechte oder Nutzungsgenehmigung des Prandtl'schen Materials kein Thema. Das lag eventuell daran, dass Shapiro das Filmmaterial Prandtls eben nicht über das IWF oder Prandtl, sondern wahrscheinlich von einem Kollegen erhalten hatte. Ange-

64 Shapiro ans IWF, 31. 8. 1987, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387, Box 12.

65 Vgl. die Abschnitte »Strömungstechnik, Umströmung von Körpern« im Verzeichnis der wissenschaftlichen Filme, Teilverzeichnis T Technik in Ingenieurwissenschaften und Architektur, Institut für den Wissenschaftlichen Film 1982, S. 5, TIB IWF.

66 »Berichtszettel Fremdfilmbeschaffung«, TIB IWF 12553.

67 Vertrag zwischen dem IWF und der Encyclopedia Britannica Educational Corporation, 14. 8. 1985, TIB IWF 12765; für *Vorticity* vgl. »Filmberichtszettel bz Nr. 6395«, TIB IWF 12765.

sichts der Tatsache, dass das NCFMF mit seinen Filmen auch wirtschaftliche Interessen verband und mit ihnen Geld verdiente, und insbesondere auch, da das IWF einen eher restriktiven Umgang mit Urheberrechten pflegte, ist es dennoch bemerkenswert. Während Anfragen zur Nutzungsgenehmigung für alle sonstigen im Videokurs verwendeten Bilder und Aufnahmen zu finden sind, fehlen diese Anfragen in Bezug auf den Strömungsfilm.⁶⁸ Letztlich besteht eine klaffende Forschungslücke bezüglich der rechtlichen Fragen, die die Zirkulation von Filmen oder Filmausschnitten begleiten – insbesondere bei Forschungsfilmen.⁶⁹

Vieles deutet darauf hin, dass sich mit der Wiederverwendung und der Rekontextualisierung in den USA ein paralleler Zirkulationskreislauf der Aufnahmen etablierte.⁷⁰ Der Stanforder Ingenieur Stephen Kline, der den dritten NCFMF-Film *Flow Visualization* geschrieben hat (der mit den gleichen Bildern beginnt, mit denen auch C 1 einsteigt: mit der Wirbelbildung hinter einem Zylinder), baute in den 1960er Jahren einen eigenen Forschungsfilmkatalog dezidiert für fluiddynamische Bewegtbilder auf. Die Methoden der Filmkatalogisierung dieses »ASME Catalog of Motion Pictures of Research Data in Fluid Mechanics and Heat Transfer«⁷¹ erinnern stark an das IWF. Zu jedem Film sollten Begleitschriften publiziert werden und es wurde versucht, ein kostendeckendes Verleih- und Verkaufssystem mit Archiv- und Verleihkopien aufzuziehen, die in der Bibliothek der Engineering Society,

68 Briefe von Shapiro an zahlreiche Forschungseinrichtungen der Strömungsforschung aus den Jahren 1980/81, u. a. Onera und ISL Saint-Louis in Frankreich, Army Department und NASA und die University of Iowa in den USA sowie das National Physics Laboratory Teddington in Großbritannien, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0387.

69 Eine der wenigen Arbeiten zum Copyright von Archivfilmen ist: Claudy Op den Kamp, *The Greatest Films Never Seen: The Film Archive and the Copyright Smokescreen*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2018.

70 Wie bereits die vorherigen Kapitel gezeigt haben, ist ein solcher paralleler Distributionskreislauf typisch für die Bildverwendung der Wissenschaften. Die persönlichen Kopien der Filmemachenden, die Institutsversion und die RfU-Version zirkulierten parallel. Katharina Steiner und Lukas Engemann sprechen von »multiple loop cycles«: »An understanding of circulation as having multiple loops might help us to show that dissemination is part of production and reproduction, that the circulation of images through reproduction is the condition for producing new images.« (Katharina Steiner, Lukas Engemann, »Circulation as a Visual Practice«, in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 46/2–3 (2023), S. 143–157, hier S. 148, <https://doi.org/10.1002/bewi.202300023>.)

71 Fluid Mechanics Committee – American Society of Mechanical Engineers, »Catalog of Motion Pictures of Research Data in Fluid Mechanics«, Third Edition, New York 1976, Linda Hall Library Collections; vgl. auch: Anonym, »ASME Catalog of Motion Pictures of Research Data in Fluid Mechanics and Heat Transfer«, in: *Journal of Fluids Engineering* 98/2 (1976), S. 151–155.

ESL, in New York verwahrt wurden.⁷² In dieser »Fluid Mechanics Research Film Library« fehlte neben den Filmen des NCFMF auch der Strömungsfilm nicht. Der angegebene Titel *Production of Vortices by Bodies Travelling in Water* (inklusive falscher Datierung auf 1920 und Zurechnung der Urheberschaft auf Prandtl und Ahlborn) weist darauf hin, dass es sich um die Version handelte, die Prandtl auf der Weltreise mit sich führte. In dem nach Autorennamen sortierten Katalog trug der Film die Signatur »P 4« und war dort der älteste Film.

Unabhängig von den IWF-Versionen C 1 und C 2 zirkulierte in der Folge auch P 4 global. Darüber gibt etwa ein Vermerk aus der *Gazette of India* von 1978 Aufschluss, ein Amtsblatt, das alle Filme aufführt, die wöchentlich die Zensur des indischen Ministry of Information and Broadcasting durchliefen.⁷³ Neben zahlreichen Bolly- und Hollywood-Filmen tauchen auch Filme aus der Film Library der ESL wie *Production of Vortices* in der Liste auf. Anders als bei anderen Filmen auf der Liste – wie Roman Polańskis *Chinatown* oder John Frankenheimers *French Connection II* – hatte die Zensur bei den Strömungsfilmen nichts zu bemängeln und verlangte keine Szenenkürzungen. Eingereicht wurde der Film vom National Aeronautical Laboratory in Bangalore, das 1959 als indisches Zentralinstitut für die Luftfahrtforschung gegründet wurde. Prandtls Doktorand Vishnu Madav Ghatage, der selbst Filme in Göttingen gedreht hatte, gehörte dort einige Jahre zum Executive Committee. Als Urheber ist fälschlicherweise die Engineering Society Library angegeben und als Ursprungsland die USA. Damit war das Göttinger Filmmaterial nicht nur in seinen Schnipseln innerhalb eines umfassenden US-amerikanischen Bildungsprogramms dekontextualisiert worden, sondern auch in jener Fassung, deren Schnitt Prandtl noch selbst autorisiert hatte. Sein Filmmaterial wanderte auch jenseits von Göttingen zwischen Lehr- und Forschungskontexten, zwischen politischen Systemen, es durchlief Zensuren, es wurde zerschnitten, neu geschnitten, mit Grafiken überlagert, kommentiert, verkauft, neu katalogisiert, umformatiert, umbenannt – so lange, bis es nicht mehr als Material Prandtls ausgezeichnet wurde. Darum, dass gerade solche Dekontextualisierungen das Fließen des Strömungsfilms in neue Kontexte begünstigen konnte, wird es im nächsten Kapitel gehen.

72 National Committee for Fluid Mechanics Films, »Newsletter No. 2«, September 1962, MIT Archives, Shapiro Papers, MC-0637, Box 12.

73 Directorate of Printing, Government of India, »Particulars of Films Certified by the Central Board of Film Censors during the week ending 12-3-1977«, in: *Gazette of India* 341 (1978), S. 671.

Kapitel 7

Archiv- und Kunstfilm, 2004–2019



Abb. 7.1 und 7.2: Frappierende Ähnlichkeit weisen diese beiden Bilder auf: links ein Screenshot mit einem Bild des Strömungsfilms von der Internetseite zum von Joost Rekveld kuratierten Filmprogramm *Crystals and Curves* beim Avanto Festival Helsinki 2005, rechts das Back Cover seiner DVD/Blue Ray Box *Joost Rekveld: 11 Films* von 2019.

Die beiden Bilder, die diesem Kapitel vorangestellt sind, sind Aneignungen des Strömungsfilms, die weit über das bisher betrachtete Repertoire an Wiederverwendungen der Laboraufnahmen hinausgehen. Der Webseitenausschnitt links (Abb. 7.1) zeigt einen Screenshot aus einer Version des Strömungsfilms, die 2004 digitalisiert wurde; das digitale Rendering rechts dient als Backcover einer DVD-Box, die 2019 erschienen ist (Abb. 7.2). Es lassen sich zahlreiche Ähnlichkeiten zwischen beiden Bildern erkennen: Der Anschnitt des Kreises in der Ecke ist nahezu identisch und die Flächen der Bilder zeigen jeweils ungeordnete, ja chaotische Verläufe von weißen Formen auf schwarzem Grund. Beide Bilder vermitteln den Eindruck des Fließens, obwohl sie unbewegt sind, wobei es Stellen zu geben scheint, an denen das Fließen zum Stillstand kommt und Wirbel entstehen. Auch die harte

monochrome Ästhetik ist ähnlich, wenngleich der Schwarz-Weiß-Kontrast des digitalisierten Filmbildes weniger hart ist als im Falle des digitalen Renderings. Neben den Gemeinsamkeiten lassen sich Unterschiede ausmachen: Im Screenshot mit dem Strömungsfilm dominieren Punkte respektive Flecken unterschiedlicher Formen und Dicken das Bild. Nur in den Wirbelzonen und am Zylinder ergeben sich Flächen oder Linien. Das DVD-Cover ist hingegen von Linien durchzogen, die sich an ihren Enden spiralförmig aufrollen und in ihrer Iteration ein grafisches Muster ergeben.

Beide Wiederverwendungen gehen auf Joost Rekveld zurück, einen niederländischen Medienkünstler und Experimentalfilmer.¹ Rekveld hat den Screenshot erstellt und sein Interesse am Film war für dessen Digitalisierung 2004 verantwortlich. Das Einzelbild nutzte er, um den Film in verschiedenen Filmprogrammen anzukündigen, die er zunächst im selben Jahr in Amsterdam und dann in den folgenden Jahren an anderen Orten kuratierte – zum Beispiel beim Avanto Filmfestival in Helsinki, von dessen Website der obige Ausschnitt stammt. Rekveld hatte eine 35mm-Version des Films während einer Artist Residency im Niederländischen Filmmuseum gefunden. Das nationale Filmarchiv der Niederlande heißt heute Eye Filmmuseum und gilt als eines der wichtigsten Filmmuseen Europas. Die 35mm-Nitrokopie sowie das Digitalisat hat er dann im Rahmen verschiedener Filmprogramme, jeweils in der Nachbarschaft künstlerischer Experimentalfilme, vorgeführt. Nachdem Prandtls Film zuvor in Hörsälen, Klassenzimmern, Bibliotheken, Privatzimmern und Sitzungsräumen zu sehen war, wurde er auf diese Weise 80 Jahre nach seiner Produktion zum Kinofilm.

Das rechte Bild stammt von 2010 und ist einem von Rekveld selbst produzierten künstlerischen Experiment entnommen. Es ist das visuelle Rendering einer von ihm geschriebenen Software, welches er in Abstimmung mit der Grafikdesignerin Isabelle Vigier als Backcover für eine DVD- und Bluray-Box verwendet hat, die sein filmisches Œuvre versammelt und die 2019 beim renommierten Videoverlag Re:Voir Paris erschienen ist. Angesprochen auf den Vergleich, schrieb uns Rekveld 2022 in einer E-Mail:

seen side by side the resemblances [...] are indeed uncanny, but that is entirely unintended. [...] The algorithm is originally derived from a fluid simulation, but when I worked on it I am quite sure that I was not at all

¹ Das Stadtmagazin Utrechts bezeichnete Rekveld gar als »grootmeester« des Experimentalfilms. Anonym, »Joost Rekveld en zintuiglijke mediakunst als startschot voor ART MACHINES«, in: *De Nuk*, 18. 5. 2019, <https://denuk.nl/joost-rekveld-en-zintuiglijke-media-kunst-als-startschot-voor-art-machines/>, zuletzt besucht am 17. 4. 2023.

thinking of the Prandtl film. That does not mean it is a pure coincidence, more that I was not conscious of its influence, I would say ;)

Uncanny, aber unintendiert – ein unbewusster, aber nicht vollkommen zufälliger Flow, der das eine Bild mit dem anderen verbindet.

In diesem Kapitel folgen wir den Filmaufnahmen dahin, wo Laborbilder sonst nur selten hinkommen: zunächst ins nationale Filmarchiv, dann ins Arthouse Kino, wo die Kunst des Filmemachens verhandelt wird, und schließlich sogar dorthin, wo sich die materiellen Spuren der Aufnahmen ganz verlieren und sie nur noch als Motive auftauchen respektive nur latent vorhanden bleiben. Erneut interessiert uns, über welche spezifischen Wege wissenschaftliche Filme in die Kapillaren einer modernen Gesellschaft vordringen. Indem wir diese Wege nachvollziehen, fragen wir einerseits nach den konkreten lokalen Bedingungen, die es ermöglicht haben, dass der Film im Archiv, im Kino oder im Kunstwerk auftauchen konnte, wodurch wir etwas über die (teils unwahrscheinlichen) Zirkulationsbedingungen wissenschaftlicher Filme erfahren und aufzeigen, wie wissenschaftliche Bilder uns auch dort prägen, wo wir nicht mit ihnen rechnen. Andererseits fragen wir danach, was uns dieses Auftauchen wiederum im Umkehrschluss über die Filmaufnahmen und ihre ästhetischen und epistemischen Qualitäten erzählt.

Unter all den bis hierhin beschriebenen Umdeutungen, Umformatierungen oder Aneignungen des Filmmaterials führt uns die Wiederverwendung Rekvelts am weitesten vom Produktionskontext des Films weg. Die vorhergehenden Kapitel haben gezeigt, wie der Film an ganz verschiedenen Stellen Teil eines akademisch-industriell-militärischen Komplexes wurde: vielfach rekontextualisiert in Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung oder Rekrutierung, weit über Göttingen hinaus bis nach Tokio oder Bangalore. Dennoch blieb es stets Filmmaterial, das zumindest primär wegen des strömungsdynamischen Wissens interessierte, das damit verbunden war. Bei Rekvelts Filmprogramm erscheint der Film hingegen erstmals primär als ästhetisches Objekt, das aufgrund seiner Wirkung faszinierte. Eine wichtige Voraussetzung für diese Karriere als Kunstfilm war, dass Rekveld den Film weder auf seinen Autor noch auf die Geschichte des Films im Nationalsozialismus oder in der US-Science Education hin betrachtete. In Rekvelts Filmprogrammen wurde etwa Prandtls Name falsch geschrieben, wie auf dem Eingangsbild zu sehen ist. Der falsche Name ist vermutlich auf einen Fehler im Katalog des Filmarchivs zurückzuführen, aber er macht deutlich, dass die Arbeit des berühmten Strömungsforschers im Rahmen der Vorführungen im Kunstkontext keine Interpretationsfolie für den Film darstellte. Unter dem Namen »Prandh« statt Prandtl tauchten die Laboraufnahmen dann in vielen weiteren

Filmprogrammen auf, die auf die Kopie aus dem Niederländischen Film-museum zurückgehen.

Wie aber war es möglich, dass der Film seinen prominenten Autor, seine Herkunft und seine Geschichte abstreifen konnte? Um diese Frage zu beantworten und damit zu verstehen, warum der Film überhaupt als Filmkunst rezipiert werden konnte, wenden wir uns dem Filmarchiv respektive der Filmsammlung und dem Status wissenschaftlicher Filme im Archiv zu. Wir rücken damit das Filmarchiv als einen Ort ins Zentrum, an dem Filmgeschichte gemacht wird; als einen ganz spezifischen Sammlungsort, an dem Filmhistoriker·innen, Konservator·innen und (selten auch) eine interessierte Öffentlichkeit mit Filmen zusammenkommen, um Ordnungssystematiken von Filmen zu erstellen, Selektionspolitiken zu erdenken und schließlich Werturteile über verschiedene Filmtypen zu fällen; als einen politischen, sozialen und ökonomischen Ort, an dem über den Erhalt, die Bedeutung und die Zukunft von Filmen entschieden wird.² Wir widmen uns den Konjunkturen des Aufhebens und Wegwerfens am Filmarchiv sowie dessen Politiken der Zugänglichkeit, um zu eruieren, wie ein wissenschaftlicher Film zu einem Experimentalfilm werden konnte. Darauf folgend widmen wir uns den von Rekveld kuratierten Kurzfilmprogrammen und damit der Verwandtschaft von Prandtls Film mit dem frühen Experimentalfilm. Diese Verwandtschaft ordnen wir in die Geschichte der Filmavantgarden ein, die seit ihrem Entstehen in den 1910er und 20er Jahren eine besondere Faszination für wissenschaftliche Kinematografie kennzeichnete. Zuletzt wird es um das unbewusste Remake in einem algorithmus-basierten Kunstwerk der New Media Art und um die Frage gehen, wie das künstlerische mit dem wissenschaftlichen Experiment über das Medium Film in Verbindung steht.

2 Ausführliche Studien aus den letzten zwanzig Jahren zu den politischen, sozialen und ökonomischen Aspekten der Filmarchivierung, die wir für dieses Kapitel konsultiert haben, sind: Giovanna Fossati, *From Grain to Pixel: The Archival Life of Film in Transition*. Amsterdam: Amsterdam University Press 2018; Anna Bohn, *Denkmal Film*, Zwei Bände, Berlin: Böhlau 2013; Janna Jones, *The Past Is a Moving Picture: Preserving the Twentieth Century on Film*. Gainesville: University Press of Florida 2012; Caroline Frick, *Saving Cinema: The Politics of Preservation*. New York: Oxford University Press 2011. Die Beschäftigung mit dem Filmarchiv folgte auf die Konjunktur des Archivs in den Kulturtheorien seit den 1990er Jahren. Vgl. zu den kulturwissenschaftlichen Archivtheorien stellvertretend: Aleida Assmann, »Das Archiv und die neuen Medien des kulturellen Gedächtnisses«, in: Georg Stanitzek, Wilhelm Voßkamp (Hg.), *Schnittstelle. Medien und kulturelle Kommunikation*, Köln: DuMont 2001, S. 268–281.

Das 1946 als Nederlands Historisch Film Archief (NHFA) gegründete Filmmuseum erwuchs – wie viele andere Kinematheken – aus dem Archiv eines Filmclubs, dem ersten niederländischen Filmclub Filmliga.³ Die Filmwissenschaftlerin und ehemalige Eye-Mitarbeiterin Bregt Lameris beschreibt in ihrer Sammlungsgeschichte des Filmmuseums, die unserer Darstellung zugrunde liegt, dass der Sammlungsfokus in den ersten Jahrzehnten seines Bestehens darauf lag, so viel altes Filmmaterial aus den Niederlanden wie nur irgend möglich zu retten.⁴ Hintergrund dieser Strategie war die Übereinkunft der Archive der Fédération Internationale des Archives du Film (FIAF), Filme der nationalen Filmindustrien möglichst vollständig zu sammeln und so für ihren weltweiten Erhalt zu sorgen. Zwar ging damit nicht notwendigerweise einher, dass das niederländische Filmarchiv aktiv Material zusammengesucht hätte, aber zumindest wurde wenig bis nichts abgelehnt, was dem Archiv angeboten wurde. Das galt insbesondere für Nitratfilme.⁵ Jeder Medienwechsel spülte zudem neue Bestände in das Archiv.

Was so zustande kam, war keine systematische Sammlung, die auf der Basis von Klassifikation oder Arrangement Sinn ergab, sondern eine Sammlung von äußerst diversem Filmmaterial, darunter viel Unbekanntes, Unbenanntes oder Unterschätztes. Die Anhäufung zog jedoch in vielen Fällen keine Auseinandersetzung mit dem Angehäuften nach sich. Im Zentrum der inhaltlichen, kuratorischen und – langsam aber sicher auch – restauratorischen Arbeit standen zunächst die Filme des filmwissenschaftlichen Kanons. Alle anderen Filme in der Sammlung wurden weitestgehend ignoriert.⁶ Aber auch wenn die als randständig bewerteten Filme – mitunter aufgrund finanzieller Schranken – nicht dupliziert oder erforscht wurden, wurden sie immerhin nicht weggeworfen, sondern blieben als ungeordneter und ungehobener Schatz erhalten. Sie bildeten eine »non-collection« in den Worten Lameris.⁷

Der Strömungsfilm oder besser die verschiedenen Aufnahmen aus dem

3 Henri Langlois, Mitbegründer der Cinémathèque française, meinte sogar: »Toutes les cinémathèques d'Occident sont nées des ciné-clubs«. Zitiert nach Anna Bohn, *Denkmal Film, Band 1: Der Film als Kulturerbe*, Berlin: Böhlau 2013, S. 173.

4 Bregt Lameris, *Film Museum Practice and Film Historiography: The Case of the Netherlands Film-museum (1946–2000)*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2017, hier S. 35.

5 Ebd., S. 32.

6 Bewahren und Archivieren spielten im Vergleich zum Kuratieren und Präsentieren bei der Filmarchivierung (nicht nur im niederländischen Filmarchiv) lange Zeit eine untergeordnete Rolle. Siehe auch: Bohn, *Denkmal Film* (2013), S. 175.

7 Lameris, *Film Museum Practice* (2017), S. 60.

Göttinger Wasserkanal sind ein exemplarischer Fall dieser »non-collection«. Laut Auskunft des Eye ist unklar, wann oder wie die insgesamt drei Nitrat-Filmrollen aus Prandtls Labor in die Sammlung kamen. Bekannt ist nur, dass sie vom Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart stammen, dem nationalen Zentralinstitut für Luftfahrt. Daher ist es wahrscheinlich, dass die Aufnahmen bereits vor 1961 in die Sammlung gelangten, weil in diesem Jahr das Luftfahrtinstitut in das Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium umbenannt wurde. Ein Briefwechsel von Prandtl mit Emile B. Wolff, dem Leiter des Rijks-Studiedienst in den 1920er und 30er Jahren, zeugt davon, dass dort 1930 eine Filmversion zu 105 Reichsmark – also den reinen Kopierkosten – angeschafft worden war.⁸ Prandtl hatte den Film 1930 für eine Präsentation beim fünften internationalen Luftfahrtkongress, zu dem er nicht in persona anreisen konnte oder wollte, nach Den Haag geschickt. Anstatt ihn zurückzuschicken, kaufte der Rijks-Studiedienst den Film – vermutlich zu Weiterbildungszwecken der Mitarbeitenden.

Wie die anderen beiden Nitrat-Rollen an den Rijks-Studiedienst gelangten, konnten wir nicht rekonstruieren. Eine dieser beiden Rollen ist eine gekürzte Fassung der Weltreise-Version mit deutschen Zwischentiteln und einer Länge von 250 statt 370 m. Die andere Filmrolle stellt eine besondere Rarität dar: Sie enthält jene Aufnahmen, die Prandtl und Tietjens 1925 von rotierenden Zylindern mit umgebauter und nicht umgebauter Liesegang-Kamera gemacht haben (siehe zweites Kapitel). Es sind die einzigen von diesem Versuch überlieferten Filmaufnahmen überhaupt. Wir können nur vermuten, warum der Rijks-Studiedienst die Nitratrollen wiederum ans Filmarchiv abgegeben hat. Vielleicht wurde das hochentzündliche Material den Mitarbeitenden zu gefährlich, vielleicht begannen die drei Filmrollen zu riechen, vielleicht stand ein interner Umzug an.

Sonstige kontextualisierende Archivmaterialien zu den Filmrollen existieren im Eye nicht. Das ist wenig verwunderlich, denn in der Zeit, als die Aufnahmen ans Filmmuseum gelangten, richtete sich das filmarchivarische Interesse einzig auf die Sammlung filmischer »Originale«. Anderen Teilen des zum Film gehörenden Medienverbundes, die heute zunehmend als sammelwürdig gelten, wurde keine Beachtung geschenkt, wie etwa den sogenannten Paratexten (Begleittexte, Kritiken, Postern), die zum Film herausgegeben wurden, oder den etwaig zahlreichen Versionen (Negative, andere Formate), geschweige denn den Materialien zur Geschichte der Aufführungen der Filme.⁹ Diese Orientierung am Original konnte für wissenschaftliche Filme

8 Korrespondenz Prandtl mit Emile B. Wolff, AMPG III/61/1372 und I/44/1338.

9 Vgl. für die Geschichte des Interesses an diesen Dimensionen des Films: Ute Holl, Stefanie

besonders fatal sein, da sie eben erst im Zusammenspiel mit ihren Begleitmaterialien und in ihren Aufführungen entstehen (siehe drittes Kapitel). Laut Yvonne Zimmermann würde daher die Beschäftigung mit Filmbildern aus dem Labor eine »alternative Filmgeschichte« verlangen, »die mit dem Ansatz des Quellenverbunds als einem dezentrierten, rhizomatischen Netzwerk der Filmhistoriografie neue methodische Impulse geben« könne.¹⁰

Die drei Filmrollen blieben bis Mitte der 2000er ein unentdeckter Teil jener *non-collection* von Nitratfilmen am Filmarchiv. Die Laboraufnahmen waren an diesem Ort des Dazwischens entfunktionalisiert und sowohl von ihren weiteren Geschichten als auch insbesondere von ihrem Macher gelöst. Die Entkontextualisierung und Entdimensionierung der Aufnahmen hätte möglicherweise bedeutet, dass die Geschichte des Films nicht mehr erzählt werden kann (wäre sie nicht dank anderer Archive rekonstruierbar). Im Kontext der längeren und verworrenen Geschichte der wiederholten Wiederverwendungen des Films lässt sich die entkontextualisierende Archivierung hier aber nicht nur als Verlust, sondern auch als ein Prozess des Verlernens interpretieren, als eine historische Möglichkeit, die Existenz eines wissenschaftlichen Films nicht allein auf seinen Autor und dessen Theorien zurückzuführen.

Genau die Position als zwar aufgehobenes, aber über sein Material hinausgehend unbeachtetes Archivgut war schließlich auch die Voraussetzung dafür, dass es zu einer radikalen Neunutzung kommen konnte. Denn im Archiv kommt etwas zwar aus einer bestimmten Richtung an, es kann sich von dort aber – je nach Archiv und Sammlungskontext – in viele weitere Richtungen zerstreuen. Die Archivierung schuf also eine Offenheit für das, was sich als »potentielle Geschichte« verstehen lässt.¹¹ Wenn ein Film von seinen historischen Ankern gelöst ist, gilt, was Susan Sontag für ein Foto beschrieben hat: »It drifts away into a soft abstract pastness, open to any kind of reading (or matching to other photographs).«¹² Es liegt wiederum an der spezifischen Geschichte des Niederländischen Filmmuseums seit den 1980er Jahren, welche Richtung die Wiederverwendung der Filmrollen aus Göttingen zukünftig nehmen sollten.

Schulte Strathaus, »Persephone und Sisyphos im Archiv«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7/2 (2012), S. 143–150, <https://doi.org/10.25969/mediarep/603>.

¹⁰ Yvonne Zimmermann, »Zur (Un-)Produktivität epistemischer Bilder als Quellen der Filmgeschichtsschreibung«, in: Hannes Rickli (Hg.), *Videogramme*, Zürich: Scheidegger und Spiess 2011, S. 130–135, hier S. 135.

¹¹ Das Konzept der potentiellen Geschichte ist verschiedentlich theoretisiert worden, zuletzt etwa in Ariella Aïsha Azoulay, *Potential History: Unlearning Imperialism*, London: Verso 2019.

¹² Susan Sontag, *On Photography*, London: Penguin 1979, S. 71.

Wegen seiner »eklektischen« Sammlung, die im Vergleich zu den Filmarchiven Frankreichs, Italiens oder Großbritanniens relativ klein war und größtenteils nicht-kanonische Titel enthielt, galt das niederländische Museum lange Zeit als wenig bedeutend.¹³ Gemäß Lameris und der Filmwissenschaftlerin Claudy Op den Kamp änderte sich das jedoch mit einem Paradigmenwechsel in der Filmarchivszene, der Ende der 1970er Jahre einsetzte. Häufig gilt die Konferenz der bereits erwähnten Vereinigung FIAF in Brighton von 1978 als Beginn eines neuen Interesses an den Materialitäten von Film und als Anfang einer Zuwendung zu bisher marginalisierten Filmen. All jene Filme gerieten in den Fokus, die in der Meisterwerk-Tradition zuvor vernachlässigt wurden. Die Entwicklungen in den Filmarchiven fielen mit dem Aufkommen der New Film History zusammen, die das Unbekannte und Vergessene der Filmgeschichte zu heben suchte. Eine Erkundung der vergessenen Ränder der Filmgeschichte und insbesondere des frühen Films begann, die bis heute anhält.

Im Zuge dieses Paradigmenwechsels in Archiv und Filmwissenschaft und der generell gestiegenen Aufmerksamkeit für den frühen Film rückten am Amsterdamer Filmmuseum laut Op den Kamp zwei Fragen in den Vordergrund der filmarchivarischen Praxis: Was passiert mit Filmgeschichte, wenn die eigentlich im Archiv vorhandenen Filme gezeigt, geschaut und bearbeitet werden? Und was, wenn die persönliche Wertung und Interessen der Kustod:innen über die Erhaltung und Präsentation entscheiden?¹⁴ Mit neuen Ansätzen, wie etwa der Sammlung und Herausgabe von nicht-identifizierbaren Fragmenten unter dem Namen *Bits and Pieces*, erlangte das Niederländische Filmmuseum in den 1980er und 90er Jahren internationales Renommee. Die Filmschnipsel wurden zunächst als Filmprogramm vorgeführt und später in der gleichnamigen Reihe auf DVD veröffentlicht.¹⁵ Auch die Einladung Rekvels als Artist in Residence und dessen (Wieder-)

¹³ Lameris, *Film Museum Practice* (2017), S. 70. Laut Bohn gehen auch andere große Filmarchive auf »wilde Sammlungen« zurück, da sie ihren Ursprung meist in privater und unsystematischer Sammelleidenschaft haben. Siehe Bohn, *Denkmal Film* (2013), S. 172–176.

¹⁴ Claudy Op den Kamp, *The Greatest Films Never Seen: The Film Archive and the Copyright Smoke-screen*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2018, S. 148.

¹⁵ Vgl. zu den »Bits and Pieces«: Peter Delpéut, »Bits & Pieces – De Grenzen van het Filmarchief«, in: *Versus* 2 (1990), S. 75–84. 1991 wurde dem Museum der Premio Jean Mitry für die Beiträge zur Erhaltung und Aufwertung des Stummfilms verliehen. Auch die beiden Workshops »Non-fiction from the 1910s« (1994) und »Disorderly Order: Colours in Silent Film« (1995) trugen dazu bei, dass das niederländische Filmarchiv sich den Status eines der führenden Filmarchive erarbeiten konnte.

Entdeckung des Strömungsfilms ist im Kontext respektive in Folge dieser Entwicklungen zu sehen.

Seit den frühen 1990er Jahren lud das Filmmuseum Künstler·innen und Filmemacher·innen wie beispielsweise Fiona Tan oder Bill Morrison ein, mit der Sammlung zu arbeiten. In Zusammenhang mit wissenschaftlichen Filmen ist die Einladung des österreichischen Filmemachers Gustav Deutsch ans Filmmuseum im Jahr 1998 hervorzuheben.¹⁶ Die Einladung folgte auf die Fertigstellung des ersten Films seiner bekannten Reihe *Film ist*, in der Deutsch der Verwandtschaft von Wissenschaft und Film nachgeht. *Film ist. Teil 1* (1998) kompilierte und dekontextualisierte an entscheidenden Stellen Aufnahmen aus dem Bestand des IWF.¹⁷ Zwar kommen darin weder die für das IWF zentralen Strömungsfilme C 1 oder C 2 von Prandtl vor, noch gibt es Hinweise darauf, dass Deutsch während seiner Zeit am Filmmuseum auf die dort verwahrten Versionen des Strömungsfilms stieß. Die Einladung auf Grundlage von *Film ist. Teil 1* zeugt aber davon, dass sich die Haltung dem wissenschaftlichen Film gegenüber zu dieser Zeit zu ändern begann. Auch diese Form des Gebrauchsfilms geriet neben den anderen Rändern der Filmgeschichtsschreibung nun explizit in den Fokus. Deutsch (und andere) interessierte dabei aber nicht das Fachwissen, das die wissenschaftlichen Filme transportieren, sondern deren Kinotauglichkeit, also die ästhetische Erfahrung, die sie bei der kontemplativen Betrachtung ermöglichten.¹⁸

Rekvels Faszination für die Strömungsaufnahmen ist auch insofern symptomatisch für den veränderten Filmarchivdiskurs, als dass sein Interesse konkret der Materialität der archivierten Filmversionen galt. In dem bereits erwähnten Mailverkehr mit uns betonte Rekvel: »A very notable moment was to see the nitrate version in projection in a press screening once. I will not forget that.« Angesichts der fortschreitenden Digitalisierung geriet der Zelluloidfilm mehr und mehr zur gefährdeten Kunstform. Analogfilm rückte als physisches Objekt und Artefakt ins Zentrum der Aufmerksamkeit und insbesondere die Nitratkopien wurden als archivalische Referenzabzüge zu unersetzbaren Artefakten. Das alles stand wiederum in einem größeren Zusammenhang

16 Op den Kamp, *The Greatest Films Never Seen* (2018), S. 118.

17 Siehe zum Umgang von Gustav Deutsch mit wissenschaftlichen Filmen aus dem Bestand des IWF: Oliver Gaycken, »Beauty of Chance: Film ist.«, in: *Journal of Visual Culture* 11/3 (2013), S. 307–327 und Oliver Gaycken, »Film ist. (1–6): An Exemplary Use of the Encyclopaedia Cinematographica«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 370–378, <https://doi.org/10.1086/714730>.

18 Vgl. zu einem ähnlichen »Transformationsprozess [...], der den ästhetischen Überschuss von Laborbildern zur Geltung bringt und ihren visuellen Mehrwert ostentativ zur Schau stellt«, anhand eines anderen Strömungsfilms: Zimmermann, »Zur (Un-)Produktivität epistemischer Bilder« (2011), S. 132.

mit dem – auch durch eine bestimmte Konsumkultur getragenen – Hype um jene Medienformate, deren Aussterben sich seit längerer Zeit andeutete. Die Filmwissenschaftlerin Grazia Ingravalle hat die Aura überlegener Authentizität und neue kulturelle Seriosität des Nitratfilms so zusammengefasst: »Nitrate film has retained its reputation as ›gold standard‹, its ›aura of danger‹ and its mystique, while gaining [...] a renewed *valeur d'ancienneté*.«¹⁹

An den verschiedenen Wiederverwendungen von Filmen im Niederländischen Filmmuseum (zum Beispiel durch *Bits and Pieces* oder die *Residencies*) zeigt sich exemplarisch, dass archivarisches Ordnungen durchaus das Potential zur umdeutenden Aneignung von Filmen besitzen, zum Anderssehen, zur Deklassifizierung des klassifizierenden Blickes. Die Praktiken der Überlieferung, des Aufhebens und Wegwerfens entscheiden eben nicht nur darüber, was in unseren Gesellschaften fortbestehen darf, sondern auch darüber, was und wie etwas modifiziert, angeeignet und wieder in den Kreislauf kultureller Bedeutung eingespeist werden kann. Solche Neuaneignungen etwaig verwaister Filme forderte auch die Orphanista-Bewegung, die sich seit Ende der 1990er Jahre vor allem auf den von Dan Streible organisierten Orphan Film Symposiums formierte.²⁰ Auf deren Programm stand die Rettung von Filmen, die von ihren Macher:innen oder Besitzer:innen verwaist waren, aber auch ganz generell die Beschäftigung mit »neglected, lost, damaged, hidden, excised, rare, unique, odd, experimental, ephemeral, and utilitarian productions.«²¹ Die Orphanista-Bewegung war für die Filmwissenschaften äußerst produktiv und hoffnungsstiftend. Anhand der Neukontextualisierung des Strömungsfilms können wir jedoch zugleich die Beschränkungen der Idee verwaister Filme verdeutlichen. Die Fotohistorikerin Tina Campt hat auf den blinden (paternalistischen) Fleck der Waisenhausmetaphorik hingewiesen. Zu Waisen erklärt, würden die Filme als »helpless, passive and abandoned« bevormundet, verdammt dazu, auf der Müllhalde der Geschichte zu landen, wenn sie nicht (durch einen neuen Vater/eine neue Mutter) gerettet würden. Campt schreibt:

19 Grazia Ingravalle, »Allegories of the past: nitrate film's aura in postindustrial Rochester, NY.«, in: *Screen* 60/3 (2019), S. 371–387, hier S. 373–374, <https://doi.org/10.1093/screen/hjz021>. Beispielhaft für die Rückkehr des Analogens: David Sax, *The Revenge of Analog: Real Things and Why They Matter*, New York: PublicAffairs 2016.

20 Zur Geschichte der sogenannten Orphanista-Bewegung: Emily Cohen, »The Orphanista Manifesto: Orphan Films and the Politics of Reproduction«, in: *American Anthropologist* 106 (2004), S. 719–731, <https://doi.org/10.1525/aa.2004.106.4.719>.

21 Dan Streible, »The State of Orphan Films: Editor's Introduction«, in: *The Moving Image* 9/1 (2009), S. vi–xix, hier S. ix.

What is unsettling about this narrative is what it leaves out—namely, the potentially disruptive capacities of the unruly, orphaned child. A propensity for tantrums, rebellion, and refusal to play the ascribed docile role of adopted and redeemed model child. This narrative leaves out [...] the orphan's capacity to reveal to us—the memory, history, or heritage we think we know—but that which we neither want to see nor necessarily recognize when it is shown to us. It is a history and a heritage that is neither directly accessible nor apprehendable through its showing, screening, or display.²²

Verleitet also die Metapher der Waisenrettung dazu, zu vergessen, dass die Filme eine Geschichte und ein Erbe mit sich tragen? Bemerkenswerterweise war es vermutlich gerade jene Entkontextualisierung, die der einzigen Nitratversion des Strömungsfilms zu ihrem Erhalt verhalf. Dies legt zumindest der Vergleich mit dem Schicksal nahe, das die Strömungsaufnahmen im deutschen Bundesarchiv nur einige Jahre nach Rekvelds Residency ereilten.

Die Zerstörung der Ränder im Bundesarchiv

2009 landete eine Kiste mit einigen 35mm-Filmrollen auf dem Schreibtisch der Bildarchivarin des Archivs der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin (AMPG), Susanne Uebele.²³ Die Kiste enthielt mitunter den filmischen Nachlass von Ludwig Prandtl, darunter sowohl zahlreiche Negative als auch einige Projektionskopien, die wahrscheinlich von Prandtl persönlich genutzt wurden. Zuvor war die mit Nitrozellulose gefüllte Kiste laut Uebele durch das Archiv gewandert. Die Kiste tauchte hier und da auf, bis die Geruchsbelästigung des in Auflösung befindlichen Materials und die Angst der Mitarbeitenden vor einer Explosion nicht mehr zu ignorieren waren. Uebele wandte sich an das deutsche Bundesarchiv, welches sie wissen ließ, dass das Material unter das Sprengstoffgesetz falle und daher eine andere Lagerung erfordere. Die Kiste fand schließlich nach längeren Verhandlungen den Weg in das wenige Jahre zuvor eröffnete Nitrozelluloid-Lager des Bundesarchivs, ein bunkerähnliches Gebäude zwischen zwei Erdwällen in Berlin-Hoppegarten. Da blieb es allerdings nur für kurze Zeit. Das Bundesarchiv legte Uebele nahe, sich um eine

²² Tina Campt, *Image Matters: Archive, Photography, and the African Diaspora in Europe*, Durham, NC: Duke University Press 2012, S. 90, <https://doi.org/10.1215/9780822394457>. Vgl. zu dieser Kritik auch Ewa Stańczyk, »The rebelling orphan: adopting the found photograph«, in: *Feminist Media Studies* 18/6 (2018), S. 1040–1054, <https://doi.org/10.1080/14680777.2017.1393763>.

²³ Die folgenden Informationen entstammen dem Bericht, den Susanne Uebele für uns verfasst und uns am 18. 12. 2023 per E-Mail zugeschickt hat.

Umkopierung zu kümmern, da die Originale aus »Kapazitätsgründen« nicht dauerhaft im Bundesarchiv aufgenommen werden könnten. 2011 ließ Uebele die Filme schließlich sowohl analog auf 35mm als auch digital in damals hochwertiger 2K-Qualität kopieren. Die Nitratfilme wurden daraufhin vernichtet. Und mit ihnen wichtige historische Informationen.

Ob es sich bei den Originalen in der Kiste um sogenannte Kameranegative handelte oder ob es später von diesen angefertigte Negative waren, lässt sich anhand der umkopierten, ungefährlichen 35mm-Abzüge, die heute in der AMPG liegen, nicht mehr bestimmen. Aus den Kameranegativen hätten wir etwaige Informationen zum Schwarz-Weiß-Kontrast erhalten, der vermutlich erst in den weiteren Entwicklungsschritten des Materials erreicht wurde, der aber für die visuelle Überzeugungskraft des Films zentral war.²⁴ Verloren waren auch die Informationen, die in den Rändern des Materials, das vermutlich am nächsten an ein Original herankommt, eingeschrieben waren. Beim Umkopieren und Digitalisieren wurden keine sogenannten Edge-to-Edge-Scans angefertigt, bei denen auch der Bereich der Perforierung mitkopiert wird. Durch den Verlust der Ränder gingen Angaben zum in Göttingen benutzten Material verloren, zu dessen Herstellerfirma und damit eventuell zum genauen Produktionsjahr.

Bei den Versionen, die im Eye Filmmuseum lagern, war uns im Gegensatz dazu eine Datierung durch das verwendete Filmmaterial – zumindest für einzelne Szenen – möglich. Zum Beispiel waren einige der Filmaufnahmen des rotierenden Zylinders auf Lignose 35mm Nitrat kopiert worden – Filmmaterial, das nur 1925 hergestellt wurde. Das passt zur Produktionszeit dieser Aufnahmen, wie wir sie im zweiten Kapitel rekonstruiert haben. Die Vorführkopie des Strömungsfilms wiederum war auf (deutschem) Kodak Material mit der letzten Ziffer 0 kopiert worden, welches aus dem Jahr 1930 stammt. Diese Datierung stützt die These, dass die Kopie im Eye von Prandtl zum Internationalen Luftfahrtkongress 1930 erstellt wurde. Die Abnutzung deutet darauf hin, dass sie häufig vorgeführt worden sein muss (Abb. 7.3).

²⁴ Vgl. zum Verständnis des Begriffs des Originals in den Filmwissenschaften: Bohn, *Denkmal Film* (2013), S. 199–219. Zur Informationsdichte des Originals schreibt Giovanna Fossati: »The original artifact, even when too damaged and fragile to be projected, is still the best source for any new restoration: [...] no matter what duplication technique is used, the best photographic result will be obtained if the source is the most ›original,‹ in other words the closest to the camera negative. This is always the case in the analog domain.« Fossati, *From Grain to Pixel* (2018), S. 207. Vgl. zum Verlust wertvoller Informationen bei gängigen Digitalisierungspraktiken: Barbara Flückiger, Noemi Dagaard, Olivia Kristina Stutz, »Shattered provenance in the digitization of early color films«, in: Joanne Bernardi et al. (Hg.), *Provenance and early cinema*, Bloomington: Indiana University Press 2021, S. 80–90.



Abb. 7.3: Den Rändern von Filmmaterial sind teilweise wertvolle historische Informationen zu entnehmen. Das Foto zeigt den Blick durch die Standlupe auf die 35mm-Nitrofilmversion des Strömungsfilms im Eye Filmmuseum. Das fehlende Stück ist sehr wahrscheinlich auf die vielfache Nutzung des Materials zurückzuführen.

Eine solche Arbeit mit und an den Rändern der Nitratoriginale sowie die Datierung war uns nur durch die Unterstützung einer Filmarchivarin des Eye, Annike Kroos, möglich. Restaurator:innen sehen eben nicht nur die Ränder der Filmgeschichte, sondern verbaliter die Ränder des Filmmaterials.

Zurück zum Bundesarchiv, in dem die Negative nicht mehr lagern: Was sagt es über den Stellenwert wissenschaftlicher Filme aus, dass das zentrale deutsche Filmarchiv, das zur betreffenden Zeit weit über 75000 Nitrat-Filmrollen und über eine Million Filmrollen insgesamt beherbergte, keine Kapazität für die Filme aus dem Nachlass Prandtls hatte – und damit für den Strömungsfilm, der unseren Recherche zufolge als einer der wichtigsten wissenschaftlichen Filme überhaupt gelten muss? Anlässlich der Eröffnung des neuen Nitromagazins in Berlin-Hoppegarten im Jahr 2005 hatte die damalige Kulturstatsministerin Christina Weiss betont, dass »der Abteilung Filmarchiv des Bundesarchivs die Aufgabe eines zentralen deutschen Filmarchivs« zukomme.²⁵ Konkret bestünde der Auftrag in einer »möglichst vollständige[n] Sicherung der deutschen Filmproduktion – von den ersten

25 Zitiert nach Egbert Koppe, »Für die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gerüstet«:

Filmen der Brüder Skladanowsky bis zu aktuellen Produktionen.« Als ein Beispiel, das in Zukunft »Schule machen« sollte, hob Weiss beim selben Anlass die »Überführung der Filmsammlung der Lufthansa, die immerhin die größte Sammlung zur deutschen Luftfahrtgeschichte« sei, hervor.²⁶ Es wirkt wie ein Treppwitz der Geschichte, dass wenig später gerade jener Film zur Langzeitarchivierung abgelehnt wurde, den Prandtl so häufig vorgeführt hatte, um unter anderem die Richtigkeit seiner Tragflügeltheorie zu unterstreichen, ohne die die deutsche wie die globale Luftfahrt in der heutigen Form undenkbar wären. Der Umgang des Bundesarchivs zeugt aus unserer Perspektive sowohl von der weithin unterschätzten historischen Bedeutung von filmischen Laboraufnahmen als auch von der Überforderung im Umgang mit der Historizität von Wissenschaft im Allgemeinen.²⁷

Im Vergleich zu anderen Kulturgütern wie etwa Büchern, Bildern oder Gebäuden hatten der Schutz und die Konservierung von Film lange Zeit einen prekären Stand. Bis heute kann von einer Gleichrangigkeit keine Rede sein. Auch die verschiedenen, historisch tradierten Wertigkeiten der unterschiedlichen Filmgattungen – vom Autoren- und Spielfilm, über den Werbe- und Kunstfilm bis hin zum Forschungsfilm – sind in die Filmarchive eingeschrieben. Vergleichen wir den Umgang mit den Nitrofilmrollen in Berlin und Amsterdam miteinander, scheint die Entkontextualisierung der Laboraufnahmen aus Göttingen zur Bedingung für deren Erhalt in Amsterdam geworden zu sein. Als geschichtslose Nitratrollen hatten die visuell faszinierenden Filme mehr Berechtigung auf Erhalt denn als wissenschaftlicher Nachlass.

Ein experimenteller Film

Die spezifische archivarische Situation am Amsterdamer Filmmuseum – verstanden als Verschränkung aus Entkontextualisierung der Filmrollen, ungestörter Verwahrung des Nitratmaterials und filmhistorischen Rekontextualisierungsversuchen – eröffnete letztlich die Möglichkeit einer nächsten Karriere der Strömungsaufnahmen. Im Jahr 2004 lud der damals neu

Einweihung der Neubauten für das Filmarchiv in Hoppegarten«, in: *Mitteilungen aus dem Bundesarchiv* 2 (2005), S. 2–6, hier S. 2.

²⁶ Ebd., S. 3.

²⁷ Diese zugegebenermaßen zugespitzte Interpretation soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass die unterschiedliche Geschichte der Filmarchivierung in Deutschland und den Niederlanden sowie weitere Zufälligkeiten wohl ebenso entscheidend für den differierenden Umgang mit den Filmrollen war. Vgl. Bohn, *Denkmal Film* (2013), S. 227–284.

angetretene Direktor des Niederländischen Filmmuseums, Rien Hagen, Rekveld als Artist in Residence ein, eine Verbindung zwischen dem Bauhaus-Künstler László Moholy-Nagy und seinem Filmschaffen unter Einbezug des Archivs herzustellen. Im Zuge dieser Residency entwarf Rekveld ein umfassendes, zweimonatiges Veranstaltungsprogramm mit dem Titel *4D in the Filmmuseum*, bestehend aus sechs Vorträgen, elf Installationen – zwei davon von Rekveld selbst – und 14 Filmprogrammen.

Rekveld, der im Rahmen seiner Residency Kisten voller halbzerstörter Zelluloidrollen an zwei Steenbeck-Schneidetischen im damaligen Außenlager des Museums durchforstete, betonte in der E-Mail an uns: »finding the Tietjens and Prandtl film was one of the highlights of that research«. Für das 4D-Programm erstellte das Filmmuseum zwei 35 mm-Acetatkopien der Nitratversion mit englischen Zwischentiteln. Als solche konnte der Strömungsfilm dann zunächst im Rahmen des Eröffnungsprogramms *Tests and Demonstrations*, das eine Auswahl der Archivfunde Rekvelts mit elektronischer Live-Musik kompilierte, gezeigt werden. Außerdem war der Film Teil eines thematischen Programms mit dem Titel *Deeltjes, Kristallen/Particles, Crystals*, das sich laut Ankündigungstext den verschiedenen Formen von »flux« widmete.²⁸ Darin kompilierte Rekveld Prandts Film mit Filmen kanonischer Künstler:innen der Avantgarde. Den Auftakt bildete (wie bei allen Filmprogrammen im Rahmen von 4D) Moholy-Nagys erster Film *Lichtspiel Schwarz-Weiss-Grau* (1930). Die anderen historischen Filme im Programm stammten von Jan C. Mol, Henri Chomette, Len Lye, Jean Painlevé, James Whitney, Raymond Hains, Jacques Villeglé und Stan Brakhage.²⁹ Den Bogen zur Gegenwart des damaligen analogen Experimentalfilmschaffens schlug Rekveld mit Nathaniel Dorsky, Jun'ichi Okuyama und Cécile Fontaine – der einzigen Filmemacherin im Programm.

Mit Rekvelts Programm fand der Strömungsfilm ein neues Publikum. Auch wenn die ästhetische Faszinationskraft der Aufnahmen immer schon eine Rolle in der Geschichte des Films gespielt hat – in Prandtls implizitem aber erfolgreichen Streben nach Beifall mit seinem Vortragsfilm, in der Karriere des Films im Nationalsozialismus oder beim *sugarcoating* der militärischen Forschung in der US-Wissenschaftsvermittlung – blieb die visuelle Kraft bis dato stets unausgesprochen, implizit und vor allem anderen Aspekten untergeordnet. Erst in einem anderen Raum – dem des Kinos – konnte explizit werden, was zuvor latent geblieben war. In einer Rezension

²⁸ Anonym, »Programma A-Z«, in: *Zine. Filmmuseum-magazine* 7 (Sept. 2004), S. 20.

²⁹ Andere Filmprogramme in der 4D-Reihe waren beispielsweise *Curves and Straight Lines*, *The History of the Future*, *Social Photography* oder *Utopia and Concrete*.

des 4D-Programms für die niederländische Tageszeitung *NRC Handelsblad* ist in Bezug auf den Strömungsfilm von einem »betörend schönen Film« die Rede.³⁰ Was Lisa Cartwright und Marita Sturken wissenschaftlichen Bildern attestiert haben, dass diese neben anderem eben auch »aesthetically pleasing« seien,³¹ spielte sich hier in den Vordergrund: die inferiore Ästhetik wurde zum Superioren, das superiore fluiddynamische Wissen wurde zum Inferioren.

Das 4D-Programm blieb kein Einzelfall. In der Folge zeigte Rekveld selbst den Film in weiteren von ihm kuratierten Programmen, jeweils mit kleinen Änderungen in Ablauf und Auswahl der Filme. Zunächst beim Avanto Film Festival in Helsinki 2006 und dann 2018 im Rahmen einer Ausstellung zum japanischen Künstler Ryoji Ikeda im Eye Filmmuseum. Auch die Vorführung des Strömungsfilms im Kino der Kunsthochschule KASK in Gent 2017 geht sehr wahrscheinlich auf Rekveld zurück, der dort als *artistic researcher* angestellt war. Einmal entdeckt und umkopiert erregte die Amsterdamer Version weiteres Interesse. So führte Nico de Klerk, Filmkurator am Eye, den Film auf der Zeche Zollverein in Essen im Rahmen einer Sommerakademie zum Thema »Wo kommen unsere Energien her?« vor.³² Im Programm *Forces of Nature* lief der Strömungsfilm neben aktuellen Experimentalfilmen, Filmklassikern wie *Regen* von Joris Ivens (1929) und dokumentarischen Aufnahmen einer Sturmflut in Holland von 1916. Während die Grundlagen der Strömungsdynamik noch zur übergreifenden Frage der Energieerzeugung passen mochten, ging die Dekontextualisierung des Films bei anderen Vorführungen im Kunstkontext deutlich weiter. 2012 lief eine 35mm-Rolle des Films aus dem Eye im renommierten Kunstort Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, CCCB, im Rahmen des Programms *The Traumatograph and Other Phantasmagoria*. Der Strömungsfilm tauchte dort nicht nur neben anderen bekannten und neueren Namen aus der internationalen Avantgardefilmszene auf, sondern wurde in ein neues Assoziationsfeld gestellt: das der Dunkelheit, des Traumas und des Phantasmas.³³

30 Im niederländischen Original: »betoverend mooie film«. Dirk Van Delft, »Eerlijke beeldtaal: experimentele filmer Joost Rekveld wil kruisbestuiving tussen kunst en wetenschap«, in: *NRC Handelsblad*, 11. 11. 2004.

31 Marita Sturken, Lisa Cartwright, *Practices of Looking: An Introduction to Visual Culture*, Oxford: Oxford University Press 2009 [2001], S. 348.

32 Anonym, Programmflyer Internationale Sommerakademie »Wo kommen unsere Energien her?«, Essen 2010, <http://www.prometheus2010.de/>, zuletzt besucht am 11. 12. 2022. Weitere Informationen stammen aus einer Mailkorrespondenz mit Nico de Klerk. Über die anderen Vorführungen haben wir durch den Verleihkatalog des Eye Filmmuseum erfahren.

33 CCCB Program, XCÉTRIC. 11TH SEASON, <http://www.cccb.org/en/activities/file/the-traumatograph-and-other-phantasmagoria/218783>, zuletzt besucht am 11. 12. 2022.

Die Verwendungen des Strömungsfilms im Kunstbereich sind für uns von besonderem Interesse, weil sie Fragen nach dem Verhältnis von wissenschaftlichem und künstlerischem Film aufwerfen. Mittels eines Close Readings der Programme Rekvelds widmen wir uns im Folgenden diesem Verhältnis in drei Schritten: Erstens fragen wir, wie es überhaupt zur Trennung der Sphären von Wissenschaftsfilm und Kunstfilm kam; zweitens, was sich die frühen Filmavantgarden davon erhofften, wissenschaftliche Filme in die Programme ihrer Filmclubs aufzunehmen; und drittens, in welche spezifische künstlerische Tradition Rekveld den Film Prandtls einreichte. Die von Rekveld ausgemachte Verwandtschaft des Strömungsfilms mit der sogenannten visuellen Musik ermöglicht es uns, bestimmte ästhetische Qualitäten des Films zu explizieren, die bis dato latent blieben und dennoch seine Geschichte mitgeprägt haben.

Frühe Filmexperimente zwischen Kunst, Wissenschaft und Technik

Rekveld adressierte die Grenzbereiche von Kunst und Wissenschaft, indem er zum Beispiel neben dem Film Prandtls auch je einen Film von Jan C. Mol (*Uit het rijk der kristallen*, 1927) und Jean Painlevé (*Les cristaux liquides*, 1978) in sein Programm *Particles, Crystals* aufnahm. Die beiden Filme sind sowohl mikrokinematografische Studien des Wachstums und der Textur von Kristallstrukturen als auch Erkundungen kinematografischer Gestaltungsmittel wie Licht und Kadrierung (Abb. 7.4–7.6). Beide Filmautoren gelten als Pioniere des wissenschaftlichen Kinos und als Grenzgänger zwischen Kunst- und Wissenschaftsfilm. Jean Painlevé beispielsweise nutzte das Medium Film zu Beginn seiner Karriere als forschender Biologe, bevor er Ende der 1920er Jahre mit seinen Filmen Zugang zur Pariser Avantgarde fand. Painlevé bedauerte die strikte Trennung zwischen Experimenten *mit* Film und Experimenten *auf* Film stets. Im Jahr 1955 schrieb er: »It would never have occurred to the pioneers of cinema to dissociate research *on* film from research *by means of* film.«³⁴ Sein Bedauern bezieht sich auf die Anfänge der Kinematografie, in denen die Sphären von Forschung und Experimentalfilm noch verbunden waren.

34 Jean Painlevé, »Scientific Film«, in: Andy Masaki Bellows, Marina McDougall (Hg.), *Science Is Fiction: The Films of Jean Painlevé*, Cambridge, MA: MIT Press 2000, S. 160–169, hier S. 162. Zur Rolle der Wissenschaft in der Arbeit Painlevés vgl. James Leo Cahill, *Zoological Realism. The Nonhuman Cinema of Jean Painlevé*, Minneapolis, London: University of Minnesota Press 2019, S. 31–91. Siehe auch: Silvia Casini, »A missed encounter between species. The interplay of scientific realism and aesthetics in Painlevé's cinematographic experiments on the octopus«, in: *Studi di estetica* L/IV (2022), S. 127–156.

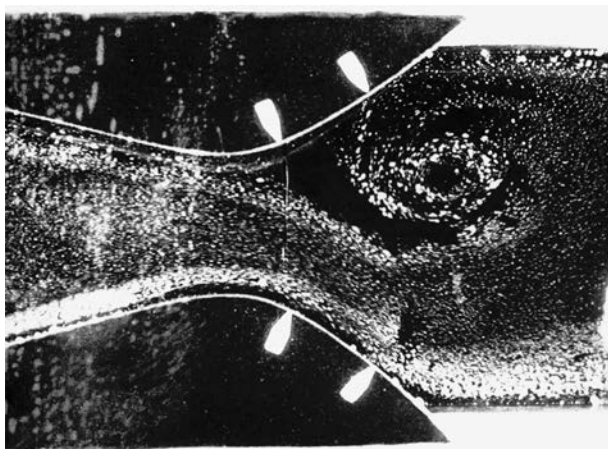


Abb. 7.4–7.6: In Rekvelts Programmen taucht der Strömungsfilm (oben) neben Klassikern des wissenschaftlichen Avantgardefilm auf, wie Jean Painlevés *Les cristaux liquides* von 1978 (mittig) oder Jan C. Mols *Uit het rijk der kristallen* von 1927 (unten). Alle drei Filme lassen sich als Erkundungen kinematografischer Gestaltungsmittel interpretieren.

Es gehört zu den Meistererzählungen der Filmgeschichtsschreibung, die Entwicklung des Mediums aus der Physiologie herzuleiten. Bei Eadweard Muybridge und Étienne Jules Marey fielen die Experimente mit dem Bewegtbildapparat und die Experimente zum Bewegungsapparat von Mensch und Tier zusammen.³⁵ Obwohl die Erkenntnisse Mareys und Muybridges in die Entwicklung kinematografischer Apparate einfließen, hatten die Anfänge der öffentlichen Filmvorführung eher wenig mit den institutionalisierten (Natur-)Wissenschaften zu tun.³⁶ Vielmehr setzte bereits in den 1900er Jahren eine Phase ein, in der sich die Anwendungsbereiche der Kinematografie zwischen Wissenschaft und Kinoindustrie zunehmend ausdifferenzierten. Der Einsatz von Film zu wissenschaftlichen Zwecken einerseits und zur Unterhaltung andererseits bedingte tendenziell andere Räume, andere Apparate, andere Netzwerke und andere Logiken. Überschneidungen gab es nur in Randbereichen, also da, wo die wissenschaftlichen Sujets Unterhaltung versprachen.

Der Filmhistoriker Oliver Gaycken hat in seinem Buch *Devices of Curiosity* beschrieben, wie ab 1903 verschiedene Filmverleihe, etwa die Charles Urban Trading Company in England und Pathé, Gaumont oder Eclair in Frankreich, auf Bewegtbilder mit wissenschaftlichen Sujets (insbesondere Aufnahmen von Tieren und Pflanzen) setzten, um im wachsenden Markt für Kinovorstellungen ein neues, bürgerliches und gebildetes Publikum anzusprechen. Dabei entstand auch die Figur des Wissenschaftsfilmmachers (»popular-science filmmaker«), personifiziert etwa in Martin F. Duncan, Percy Smith oder Jean Comandon. Ihre Filme setzten Milben im Käse, hantelschwingende Stubenfliegen oder die einzelligen Krankheitserreger der afrikanischen Schlafkrankheit ins Bild.³⁷ Mit der Etablierung längerer narrativer Genres und des Mehrrollenfilms gerieten dann auch diese populärwissenschaftlichen Filme zu Randphänomenen in den Filmprogrammen kommerzieller Kinos. Bewegtbilder mit wissenschaftlichen Sujets wurden nun entweder

35 Scott MacDonald, *Avant-Doc. Intersections of Documentary and Avant-Garde Cinema*, Oxford, New York: Oxford University Press 2015, S. 3. Vgl. außerdem zu Marey und Muybridge: Jimena Canales, *A Tenth of a Second: A History*, Chicago: University of Chicago Press 2009; Janina Wellmann, »Science and Cinema«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 311–328.

36 Wenngleich es sich diskutieren ließe, ob das frühe Kino der Welt- und Kolonialausstellungen mit seinen anthropologischen und rassifizierenden Forschungsfilmen eine (weniger filmtechnische als dispositive) Verbindung zwischen Wissenschaft und Kino herstellte. Vgl. Fatimah Tobing Rony, *The Third Eye: Race, Cinema and Ethnographic Spectacle*, Durham, NC, London: Duke University Press 1996, S. 21–76.

37 *Cheese Mites* (1903, Duncan); *The Acrobatic Fly* (1910, Smith); *Trypanosoma brucei* (1909, Comandon).

als kurze Sequenzen in die Langspielfilme integriert oder wanderten in die entstehende Lehrfilmbewegung ab.³⁸

Das Experimentieren *mithilfe von* Film (durch im engeren Sinne wissenschaftlich Forschende), das Experimentieren *mit* Filmtechnik (durch Ingenieur-innen/Techniker-innen) und das Experimentieren *auf* oder *im* Film (durch Experimentalfilmmacher-innen) sollte sich im Laufe der 1910er und 20er Jahre weitgehend voneinander lösen. Es existierten nun Forschungsfilme im engeren Sinne (wie Prandtls Strömungsfilme), die für die experimentelle Forschung eingesetzt und in ihrer jeweiligen Disziplin diskutiert wurden; es gab Experimente zur Entwicklung der Technik des Films, deren Ergebnisse in den Technikwissenschaften oder der angewandten Physik publiziert wurden; und es gab Experimentalfilme, die in ihrer Ästhetik oder Produktion experimentell waren und die als Filmkunst rezipiert wurden.³⁹ Während Wissenschaftler-innen Film als Instrument in ihren Forschungen benutzten, waren Filmemachende entweder in die Rolle technischer Assistierender gedrängt, die in Zusammenarbeit mit Forschenden Aufnahmen produzierten,⁴⁰ oder sie bedienten sich selbst wissenschaftlicher Sujets und benutzten diese Bildwelten, um populärwissenschaftliche Dokumentationen, Experimentalfilme oder Bildungsfilme zu produzieren, wie etwa Vsevolod Pudovkin oder Mol und Painlevé.⁴¹ Ihr Ziel war es, jene Prozesse abzubilden, die mit bloßem Auge nicht zu sehen waren, und die Möglichkeiten des Filmapparates auszuloten. Darin

38 Oliver Gaycken, *Devices of Curiosity. Early Cinema & Popular Science*, New York: Oxford University Press 2015.

39 Die Personalunion von filmemachendem Wissenschaftler oder wissenschaftlich forschendem Filmemacher, wie sie Jean Comandon noch ausfüllen konnte, war danach weitestgehend aufgehoben. Vgl. zum filmischen Werk Comandons: Eric Garandeau, Béatrice de Pastre, Thierry Lefebvre, *Filmer la science, comprendre la vie: le cinéma de Jean Comandon*, Paris: CNC Centre national de la cinématographie 2012.

40 Vgl. Jesse Olszynko-Gryn, »Filming Fly Eggs: Time-Lapse Cinematography as an Intermedial Practice«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 307–314.

41 Vgl. zu Pudovkin: Margarete Vöhringer, Michael Hagner, »Vsevolod Pudovkins Mechanik des Gehirns – Film als psychophysiologisches Experiment«, in: Horst Bredekamp, Gabriele Werner (Hg.), *Bildwelten des Wissens. Band 2,1 Bildtechniken des Ausnahmezustands*, Berlin: De Gruyter 2004, S. 82–92, <https://doi.org/10.1515/9783110546866-010>. Zu Mol vgl. Malin Wahlberg, »Wonders of Cinematic Abstraction: J. C. Mol and the Aesthetic Experience of Science Film«, in: *Screen* 47/3 (2006), S. 273–289. In allen drei Bereichen sind fast nur Filme, Patente oder Erkenntnisse von Männern überliefert. Zu vermuten ist, dass sich in diesen Bereichen die Hierarchien gesellschaftlicher Arbeitsteilung vielleicht nochmals eklatanter als anderswo abzeichnen, weil mit Wissenschaft, Technik und frühem Film gleich drei Bereiche zusammenkommen und überschneiden, die der Berufsarbeit von Männern vorbehalten waren.

war ihr Ansatz strukturanalog zum Einsatz neuer Visualisierungstechniken in den Wissenschaften.⁴²

Auch die Produktion des Strömungsfilms fällt in die Zeit der Ausdifferenzierung der Sphären von Filmtechnik, Film als wissenschaftlichem Instrument und experimenteller Filmkunst. Es ist daher nicht überraschend, dass Prandtl und insbesondere dessen Assistent Tietjens den Umbau ihrer Liesegangkamera mittels Malteserkreuz für ihre ersten filmischen Experimente im Jahr 1925 durchaus auch als filmtechnisches Experiment erachteten. Tietjens veröffentlichte gar einen eigenen Artikel dazu in der Fachzeitschrift *Die Kinotechnik*, die 1919 gegründet wurde und exemplarisch für die Spezialisierung der technischen Experimente mit Film steht.⁴³ Dennoch lässt sich festhalten, dass der Strömungsfilm der einzige Forschungsfilm im engeren Sinne war, den Rekveld in sein Programm *Particles, Crystals* aufnahm.

Der wissenschaftliche Film als Ressource der Filmavantgarde

Obwohl Rekveld mit Mol und Painlevé zwei Grenzgänger zwischen Kunst und Wissenschaft integrierte, waren seine Programme vor allem den Filmavantgarden des 20. Jahrhunderts gewidmet. Angelpunkt des Programms

42 Eine detaillierte Untersuchung der Berührungspunkte kinematografischer Versuche in den Wissenschaften mit der Filmproduktion von experimentellen, künstlerischen und populären Filmwerken muss jedoch als Desiderat gelten. Je nach national-lokalem Kontext (Frankreich/Paris, Deutsches Reich/Göttingen/Berlin, USA/MIT/Hollywood, Japan/Tokio, Russland/Moskau, Brasilien/Rio de Janeiro, usw.) und spezifischer je nachameratechnik (Zeitdehnung, Zeitraffung, Mikrokinematografie, Röntgenkinematografie, Unterwasseraufnahmen, etc.) sind dabei vermutlich erhebliche Unterschiede zu konstatieren. Während etwa die frühe von Lucien Bull am Pariser Marey-Institute entwickelte Zeitlupentechnik in den Avantgarden rezipiert wurde, kennt die etwas später einsetzende deutsche Entwicklungslinie der Hochfrequenz-Kinematografie (Carl Cranz, Rudolph Thun, Hubert Schardin) unseres Wissens kaum Berührungspunkte mit der nicht-wissenschaftlichen Filmwelt, was mitunter auf die höhere Komplexität und schwierige Zugänglichkeit der Apparaturen zurückzuführen ist. Vgl. zur Rezeption von Bull: Maria Ida Bernabei, »Trois archives: films scientifiques et histoires de décontextualisation«, in: *Museologia & Interdisciplinaridade* 8/15 (2019), S. 49–72, hier S. 50–53, <https://doi.org/10.26512/museologia.v8i15.24666>. Zur Deutschen Hochfrequenzkinematografie und ihrer Anwendung in der Aerodynamik vgl. Gabriele Gramelsberger, Alexander Friedrich, Sarine Waltenspül, »Wissenschaftslabore als artifizielle Zeitkonfigurationsräume. Techniken der Dehnung, Transformation und Aufhebung von Zeit«, in: *Jahrbuch für Technikphilosophie* 7 (2021), S. 163–193.

43 Oskar Tietjens, »Anwendung des Films beim Studium von Strömungsvorgängen«, in: *Die Kinotechnik* 5 (1928), S. 135–137. Mehr zum Umbau vgl. zweites Kapitel.

war die »fascination of artists for scientific concepts«.⁴⁴ Es ging nicht in erster Linie darum, den wissenschaftlichen Filmen eine Bühne zu geben, sondern ihre Bildwelten für die Kunst nutzbar zu machen.

Diese Ausrichtung des Programms war primär eine direkte Folge der Rekvelde gestellten Aufgabe, den Filmbestand des Museums mit Moholy-Nagy zu verbinden. Dessen Schaffen und insbesondere dessen *Lichtspiel Schwarz-Weiss-Grau* lieferte den Interpretationsrahmen für die anderen Filme – so auch für die Strömungsaufnahmen (Abb. 7.7 und 7.8). Moholy-Nagy vertrat in den 1920er Jahren die in den Avantgarden verbreitete Position, dass die wissenschaftliche Arbeit mit der Kamera ein Modell für die Kunst sein könnte.⁴⁵ Das »Neue Sehen«, das er in »sympiotischer Arbeitsgemeinschaft« zusammen mit seiner häufig unerwähnt gebliebenen Frau Lucia Moholy-Nagy entwickelte und in seinem Manifest »Malerei Photographie Film« von 1925 propagierte, beinhaltete den Aufruf zur Verwissenschaftlichung der Ästhetik sowie zu einer verstärkten ästhetischen Wertschätzung wissenschaftlicher Bilder.⁴⁶ In seinen Publikationen und Ausstellungen verband er häufig wissenschaftliche und andere angewandte Fotografien mit Kunst- und Dokumentarfotografien zu einem neuen künstlerischen Ensemble.

Moholy-Nagys Idee, wissenschaftliche Bilder für die Erneuerung des eigenen künstlerischen Schaffens einzusetzen, ist auch als kuratorische Strategie in den Filmavantgarden wiederzufinden. Auf der einflussreichen Ausstellung des Deutschen Werkbundes *Film und Foto* von 1929 etwa, in der Moholy-Nagy den Fototeil verantwortete und dabei mit systematischen Grenzüberschreitungen zwischen verschiedenen Bildtypen und Wissensbereichen arbeitete, kuratierte Hans Richter – ein zentraler Vertreter des sogenannten absoluten Films – ein Filmprogramm, das neben (heute

44 Joost Rekvelde, »4D. Introduction to the program«, 2004/2006, Blogeintrag, in: <http://www.joostrekvelde.net/wp/?p=488>, zuletzt besucht: 21.3.2023. Siehe auch: Anonym, »Joost Rekvelde präsentiert 4D«, in: *Zine. Filmmuseum-magazine* 7 (Sept. 2004), S. 8.

45 In einem programmatischen Text erwähnt Moholy-Nagy die Naturwissenschaften: »der fotografische apparat hat uns überraschende möglichkeiten geliefert, mit deren auswertung wir eben erst beginnen. diese im fotografischen verfahren ruhenden latenten überraschungen des optischen wurden uns sehr oft durch zufallsleistungen von amateuren, durch objektive »nicht-künstlerische« aufnahmen von naturwissenschaftlern, etnografen [sic] usw. zugänglich.« László Moholy-Nagy, »fotografie ist lichtgestaltung«, in: *bauhaus* 1 (1928), S. 2–9, hier S. 4.

46 László Moholy-Nagy, *Malerei, Photographie, Film*, München: Albert Langen 1925. Vgl. zur Arbeitsgemeinschaft mit Lucia: Mercedes Valdivieso, »Eine »sympiotische Arbeitsgemeinschaft««, in: Renate Berger (Hg.), *Liebe Macht Kunst: Künstlerpaare im 20. Jahrhundert*, Köln: Böhlau, S. 65–86. Vgl. zu Moholy-Nagys Strategien der Ästhetisierung wissenschaftlicher Fotografien: Oliver Botar, »László Moholy-Nagy's New Vision and the Aestheticization of Scientific Photography in Weimar Germany«, in: *Science in Context* 17/4 (2004), S. 525–556, hier S. 527.

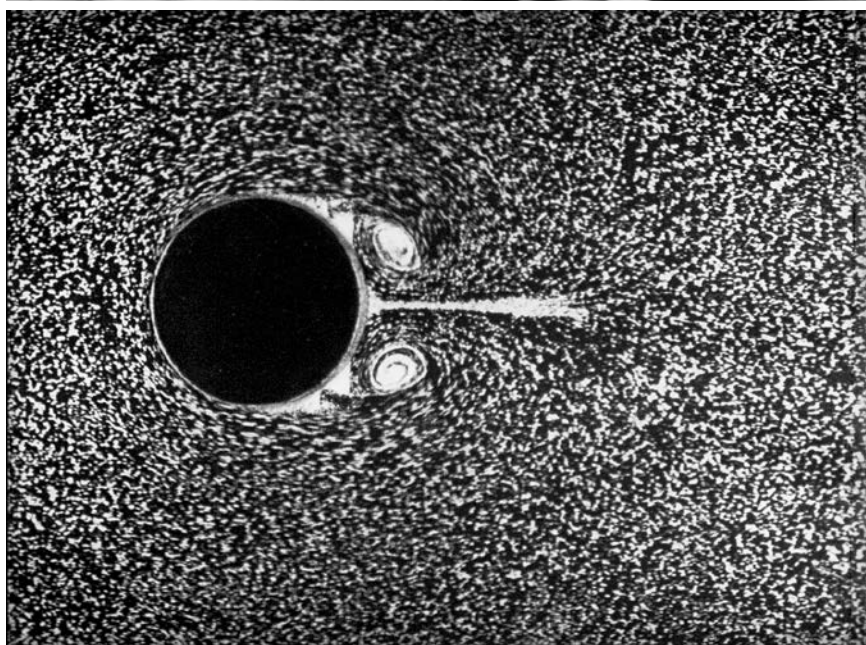


Abb. 7.7 und 7.8: László Moholy-Nagys *Lichtspiel Schwarz-Weiß-Grau* von 1930 (oben) war der Ausgangspunkt für Rekvelts Filmprogramm und bildete folglich auch ästhetisch den Interpretationsrahmen für den Strömungsfilm (unten).

kanonischen) Experimentalfilmen von Joris Ivens, Man Ray oder Viking Eggeling auch den erwähnten Kristallfilm Mols beinhaltete.⁴⁷ Schon zuvor gehörten wissenschaftliche Filme in den avantgardistischen Filmclubs von Paris, London, Amsterdam, Berlin oder Rio de Janeiro zum Programm.⁴⁸

Die Filmprogramme, an die Rekvelde anschloss, führten nicht nur die Diversität des Kinos vor, sondern sollten im Umkehrschluss die herausragende oder gar überlegene Qualität des Avantgardekinos beweisen. Der Kontrast der verschiedenen Filmstile diente dabei laut dem Filmhistoriker Malte Hagener der medialen Selbstreflexion.⁴⁹ Der Vergleich sollte den Zuschauer:innen eine Suche nach dem, was Kino konstituiert, ermöglichen. Damit einher ging die Frage nach dem Status von Film als eigenständige Kunstform. Im Sinne eines modernen Paragone ging es vielen Filmemachenden und Filmtheoretiker:innen (häufig in Personalunion) darum, den Film als eigenständige Kunstform zu etablieren, zu verteidigen oder ihn gar als höchste aller Kunstgattungen zu heiligen. Den Avantgarden dienten die wissenschaftlichen Filme dazu, ihre Frontstellung gegen das kommerzielle Kino, inklusive seinem Bestseller, dem narrativen Featurefilm, zu prononcieren.

Insbesondere die filmischen Techniken zur Skalierung von Raum und Zeit, wie Zeitlupe, Zeitraffer, Mikrokinematografie, Röntgenkinematografie, die in wissenschaftlichen Filmen Anwendung fanden, lieferten Argumente dafür, Film als eigenständige Kunstgattung herauszustellen und von abgefilmten Theatervorstellungen abzugrenzen. Die Filmavantgarden wollten aus diesen Techniken die ›wahren‹ Möglichkeiten des Mediums ableiten: Bewegung, Rhythmus und Licht. Richter beginnt sein 1929 erschienenes Buch *Filmgegner von heute – Filmfreunde von morgen*, das gleichzeitig eine Art Katalog der von ihm kuratierten Filmsektion der *Film und Foto* war, mit einem Prolog

47 Die Programme sind abgedruckt in: Anonym, »Die Stuttgarter Sondervorführungen der Werkbundaustellung Film und Photo [sic]«, in: *Lichtbildbühne* 22/145, 19. 6. 1929; und Anonym, »Die Avantgarde im Stuttgarter Programm. Donnerstag – Beginn der Filmschau«, in: *Film-Kurier* 11/139, 13. 6. 1929.

48 Gezeigt wurden beispielsweise Filme von Comandon oder von dem am Marey Institut arbeitenden Lucien Bull sowie populärwissenschaftliche Filme von Painlevé, Mol oder Smith. Vgl. zu den Programmen des Théâtre du Vieux-Colombier in Paris, im Brüsseler Club Vision Fortis und in der niederländischen Filmliga in Amsterdam: Bernabei, »Trois archives« (2019), S. 55. Vgl. für die Programme der London Film Society: London Film Society, *The Film Society programmes 1925–1939*, New York: Arno Press 1972. Vgl. zum Chaplin-Club in Rio de Janeiro: Fabricio Felice Alves dos Santos, »A apoteose da imagem«: *Cineclubismo e crítico cinematográfica no Chaplin-Club*, São Carlos: UFSCar 2016.

49 Malte Hagener, »Programming Attractions: Avant-garde Exhibition Practice in the 1920s and 1930s«, in: Wanda Strauven (Hg.), *The Cinema of Attractions Reloaded*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2006, S. 265–279. Hagener geht auf die Rolle wissenschaftlicher Filme nicht ein.

über die technischen Möglichkeiten der Filmkamera. Darin nehmen die Innovationen des wissenschaftlichen Films den prominentesten Platz ein. Er analysiert Zeitlupenaufnahmen und Zeitraffer anhand von Aufnahmen des Pflanzenwachstums, beschreibt, wie durch »Teleoptik« Fernes nah und durch »Mikrooptik Winziges riesengroß« wird.⁵⁰ Aus diesem Prolog schlussfolgert er auf die spezifischen Möglichkeiten des Films, die diesen vom Theater oder Roman unterscheiden, und er entwickelt seine Programmatik einer »Film-poesie«, in der der Film zu sich kommen würde.

Noch weitaus unmittelbarer war der Einfluss wissenschaftlicher Bewegtbilder auf die Praxis und Theorie der französischen Filmavantgarde, die in dem Filmprogramm Rekvelds durch Henri Chomettes *Jeux des Reflets et des Vitesse* von 1925 vertreten war. Germaine Dulac, die mit Chomette zusammen das *cinéma pur* begründete, das französische Pendant zum absoluten Film, integrierte immer wieder wissenschaftliche Aufnahmen in ihren Filmen. Dulac baute einige Filmsequenzen Comandons zur Bewegung von Pflanzen in ihren experimentellen Film *Thèmes et variations* (1929) ein. Sie formulierte zudem am radikalsten ihre Vision von Kino mit Rückbezug auf die Bildwelten zeitgenössischer wissenschaftlicher Filme:

Les données mêmes du cinéma pur, on pouvait les retrouver en certains documents scientifiques, ceux qui traitaient, par exemple, de la formation des cristaux, de la germination, de la croissance, de l'épanouissement des fleurs et des végétaux, de la trajectoire d'une balle, et de l'éclatement d'une bulle.⁵¹

50 Hans Richter, *Filmgegner von heute – Filmfreunde von morgen*, Hamburg: Fischer 1981 [1929], S. 8, S. 15.

51 Germaine Dulac, »Le cinéma d'avant-garde« [1932], in: Prosper Hillairet (Hg.), *Écrits sur le cinéma, 1919–1937*, Paris: Paris Expérimental 1994, S. 182–190, hier S. 186. Das »Wesen« des Mediums Film offenbart sich Dulac zufolge bei der Abbildung von Formen, die sich an natürlichen Prozessen orientieren, aber für das menschliche Sehen nur schwer fassbar (*insaisissable*) oder unsichtbar seien: »Le Cinéma est un œil grand ouvert sur la vie, œil plus puissant que le nôtre et qui voit ce que nous ne voyons pas«, Germaine Dulac, »L'essence du cinéma. L'idée visuelle« [1925], in: Christian Kiening, Heinrich Adolf (Hg.), *Der absolute Film. Dokumente der Medienavantgarde*, Zürich: Chronos 2012, S. 191–196, hier S. 194. Vgl. zur filmästhetischen Argumentation Dulacs auch: Lydie Delahaye, »Les Formes du vivant«, in: *Images Re-vues* 19 (2021), S. 1–14, <https://doi.org/10.4000/imagesrevues.10329>. Sowie: Tami Williams, *Germaine Dulac: A Cinema of Sensations*, Urbana: University of Illinois Press 2014. Comandon wiederum reflektierte auch in einer von Germaine Dulac herausgegebenen Zeitschrift über »les possibilités artistiques de la cinématographie«. Dabei geht er vor allem auf die Möglichkeiten des Films ein, alle Bewegungen so zu skalieren, dass sie für den menschlichen Wahrnehmungsschapparat erkennbar werden. Jean Comandon, »Les possibilités artistiques de la cinématographie«, in: *Schémas* 1 (Feb. 1927). In der gleichen Ausgabe schrieb auch Hans Richter über Bewegung im Film, was mithin einen Hinweis auf die Internationalität der Avantgarde in dieser Zeit liefert.

Es gibt unterdessen mehr und mehr Forschung dazu, wie stark auch die frühe Filmtheorie von den Bewegtbildern der Wissenschaft beeinflusst war. Jimena Canales, Oliver Gaycken und Maria Ida Bernabei haben gezeigt, wie Walter Benjamins »optisch Unbewusstes«, Jean Epsteins »photogénie«, André Bazins »beauté du hasard« oder Siegfried Kracauers Filmtheorie implizit oder explizit auf die Wissenschaftsfilme reagierten.⁵² Sowohl die Filmtheoriebildung als auch das experimentelle Filmschaffen müssen zudem vor dem Hintergrund der großstädtischen Experimentalkultur jener Zeit gesehen werden. Zahlreiche Zusammenhänge zwischen den neuen Visualisierungstechniken, insbesondere eben dem Film, zeitgenössischen Wahrnehmungstheorien aus der Physiologie, Psychologie und der Psychoanalyse sowie den Praktiken der naturwissenschaftlichen Labore lassen sich dabei ausmachen. Konzepte des (Un-)Sichtbaren, des Unbewussten und des Immateriellen flossen ineinander und beschäftigten diese und folgende Generationen von Theoretiker:innen und Praktiker:innen in Kunst und Wissenschaft bis hin zu Rekvelde und darüber hinaus.⁵³

Vor dem Hintergrund der Faszination der Avantgarden für den wissenschaftlichen Film mag es beinahe verwundern, dass Prandtls Strömungsfilm erst in den 2000er Jahren in die Nachbarschaft experimenteller Kunstfilme gestellt wurde. Daher ist es wichtig, einschränkend darauf hinzuweisen, dass die Forschungsfilme im engeren Sinne, also jene im Labor für die wissenschaftliche Forschungsarbeit produzierten kinematografischen Aufnahmen, unserer Kenntnis nach den Filmclubs der 1920er und 30er Jahren weitestgehend fernblieben. Zumindest für die Fluidodynamik gilt, dass die in diesem Buch besprochenen Filmaufnahmen von Friedrich Ahlborn, Henri Bénard, Franz Prásil, Albert Toussaint und Elie Carafoli unseres Wissens nicht in Avantgardekinos gezeigt wurden. Es ist zu vermuten, dass das auch für andere Fächer gilt. Das Marey-Institut in Frankreich mit Comandon und Bull und deren Verbindung zur Avantgarde war so gesehen eine Ausnahme.

52 Zu Epstein: Maria Ida Bernabei, »Un oeil nouveau. Le Ralenti scientifique à la construction de l'avant-garde«, in: *Cinéma & Cie* XIX/31 (2018), S. 93–115; zu Bazin: Gaycken, »Beauty of Chance« (2013); Canales, *A Tenth of a Second* (2009). Für die holländische Filmavantgarde ließe sich hier noch der Mitgründer der Filmliga Menno ter Braak hinzufügen, dessen Theorie vom Film als dialektischem Paar von Rhythmus und Form entscheidend durch Mols Filme beeinflusst war: Menno ter Braak, »Der absolute Film« [1931], in: Kiening, Adolf (Hg.), *Der absolute Film* (2012), S. 279.

53 Vgl. für ein paar dieser Zusammenhänge etwa: Sabine Flach, »Expanded Vision. Die Avantgarde als Laboratorium der Wahrnehmung«, in: Dies., Margarete Vöhringer (Hg.), *Ultravision: Zum Wissenschaftsverständnis der Avantgarde*, München: Fink 2010, S. 185–210.

Ziemlich genau zu der Zeit, als Prandtl die erste Schnittversion seiner Filmaufnahmen erstmals in London vorführte, stand er in brieflichem Kontakt mit Oskar Fischinger.⁵⁴ Fischinger war ein Hauptvertreter des absoluten Films und seine Filme wurden zu einer zentralen Inspiration für Rekvelde.⁵⁵ Als Fischinger 1927 Prandtl kontaktierte, brauchte der noch weitgehend unbekannte Filmkünstler dringend Geld. Daher bot er seine filmtechnischen Fertigkeiten und insbesondere die von ihm entwickelten Animationsmaschinen verschiedenen Institutionen an. Er hatte unter anderem die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG) angeschrieben und einige Filmstreifen seiner frühesten Filmexperimente *Stromlinien* beigelegt (Abb. 7.9). Ein Großteil dieser filmischen Experimente, die Fischinger noch in der Badewanne seines Elternhauses in Frankfurt durchgeführt hatte, gilt heute als verschollen.⁵⁶

Prandtl wurde daraufhin von der KWG informiert und kontaktierte wiederum Fischinger. Er bat ihn, weiteres Material zu senden, um sich ein Bild vom »wissenschaftlichen Wert der Filme« zu machen. Als Fischinger dann Prandtl eine seiner Filmrollen zuschickte, verlor dieser sein wissenschaftlich motiviertes Interesse. Er kritisierte die Unordnung des Materials und folgte, dass wissenschaftlich damit jedenfalls »kaum etwas anzufangen« sei.⁵⁷ Dennoch lobte er den hohen Kontrast und erkundigte sich nach den Färbemethoden. Der Brief Prandtls erreichte Fischinger jedoch nicht mehr. Der verschuldete Fischinger war schon, um seinen Gläubigern zu entkommen, heimlich und zu Fuß nach Berlin gelaufen. Der Kontakt zwischen Strömungsforschung und Experimentalfilmkunst verlief sich 1927 ins Nichts.

54 Briefwechsel Prandtl-Fischinger, April–Mai 1927, AMPG I/44/558.

55 Nach eigener Aussage hatten Rekvelde zwei Filmprogramme mit Fischingers Filmen (auf dem Impakt Festival in Utrecht) überhaupt dazu bewegt, selbst Filme zu machen – die Programme hatte Elfriede Fischinger, Fischingers Ehefrau und Arbeitspartnerin, mitkuratiert. Joost Rekvelde, *11 Films*, Begleitbuch, Paris: Re:Voir 2019, S. 8.

56 Vgl. zu Fischingers früher Biografie und den wenigen Informationen zu den Stromlinien: William Moritz, *Optical Poetry. The Life and Work of Oskar Fischinger*, Bloomington: Indiana University Press 2004, S. 4–20.

57 Prandtl an Fischinger, 25. 5. 27, AMPG I/44/558. Im Wortlaut heißt es: »Den Film habe ich mir heute vorführen lassen und bestätige Ihnen gern, dass die Bilder teilweise sehr kontrastreich sind. Die ganzen Strömungsvorgänge sind aber doch so ungeordnet, dass damit wissenschaftlich kaum etwas anzufangen ist. Das Einzige, was für uns von Interesse wäre, ist, zu erfahren, welche Färbemethoden Sie bei den Aufnahmen angewendet haben. Ich muss es natürlich Ihnen überlassen, ob Sie uns darüber etwas sagen wollen oder nicht.«

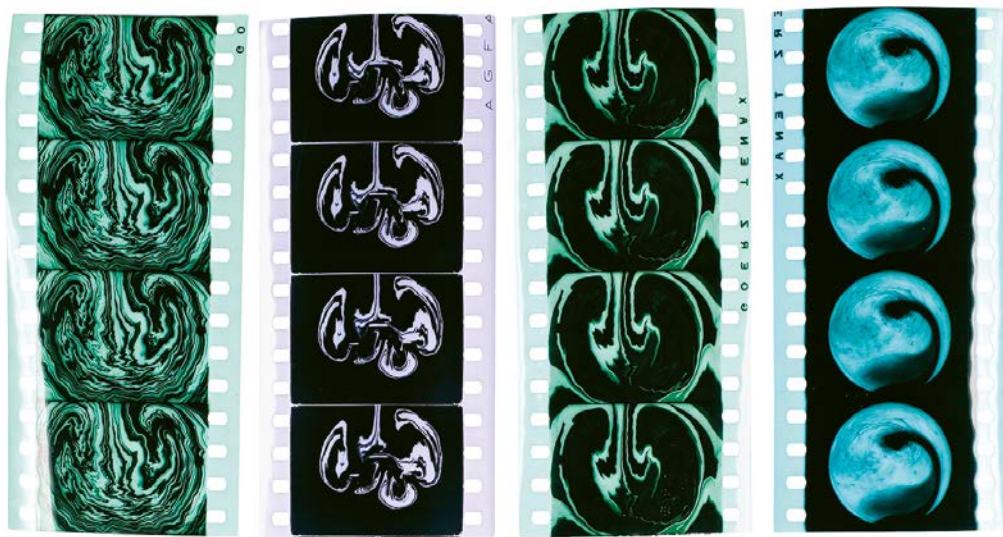


Abb. 7.9: Filmstreifen aus den Stromlinienexperimenten, die Oskar Fischinger seinem Brief an das KWI für Strömungsforschung vom April 1927 beigelegt hat. Ein Großteil dieser Aufnahmen gilt als verschollen. Es war ein glücklicher Fund, die Streifen im Archiv der AMPG zu entdecken.

Den eher zufällig wirkenden Briefwechsel mit ergebnislosem Ausgang möchten wir nicht überbetonen. Es ist angesichts des nüchternen Charakters Prandtls, der Objektivitätsideale der 1920er Jahre und der Prekarität der künstlerischen Avantgarden kaum verwunderlich, dass Fischinger und Prandtl keine Basis zur Kooperation fanden. Und doch zeugt die Episode sowohl von Prandtls ausgeprägter (oder ostentativer) Indifferenz gegenüber der potentiell künstlerischen Bedeutung von Strömungsbildern als auch gleichzeitig von seinem Interesse an den konkreten Techniken der Filmproduktion: Spielte er etwa mit dem Gedanken, seine eigenen Aufnahmen einzufärben? Es gibt weitere Hinweise darauf, dass Prandtl die künstlerische und wissenschaftliche Bedeutung von Strömungsaufnahmen nicht aufeinander bezogen wissen wollte. Auch im Briefwechsel mit dem Künstler und Fotografen Alfred Ehrhardt, der 1933 zunächst wegen seiner Nähe zum Bauhaus seine Stelle an der Landeskunstschule verlor, später aber mit *Das Watt* und *Die Kurische Nehrung* Bestseller-Fotobücher während des Nationalsozialismus verantwortete, betont Prandtl stets sein wissenschaftliches Interesse am Formenreichtum der von Ehrhardt fotografisch und filmisch eingefangenen

Sanddünen und Wattstrukturen.⁵⁸ Nicht dass Prandtl den künstlerischen Wert von Strömungsbildern offensiv leugnete, vielmehr schien er nicht auf die Idee gekommen zu sein, die Kategorie Kunst auf seine Bilder oder andere Strömungsbilder anzuwenden.

Die in den 1920er Jahren weitgehend von der Filmkunst getrennten Relevanzsysteme der wissenschaftlichen Forschung erlaubten es nicht, dass Prandtls Filmaufnahmen bereits früher in den Avantgarden reüssierten. Rhetorisch und kontrafaktisch ließe sich dennoch fragen, was wohl passiert wäre, wenn Fischinger Prandtls Film gesehen hätte, und nicht umgekehrt. Hätte Fischinger den Film in die Berliner Filmclubs getragen, wie Rekvelde knapp 80 Jahre später in die Filmfestivals?

Die Neoavantgarden und der wissenschaftliche Film

Rekvelde integrierte in seinen Filmprogrammen mit dem Strömungsfilm neben den avantgardistischen Klassikern des Experimentalfilms auch die Neoavantgarden wie Stan Brakhage und James Whitney.⁵⁹ Damit rief Rekvelde einen weiteren Berührungspunkt zwischen Forschungsfilmen und dem experimentell-künstlerischen Kino in der Filmgeschichte auf: den legendären New Yorker Filmclub Cinema 16. Der Filmclub Cinema 16 bestand zwischen 1949 und 1960 und wurde durch Marcia und Amos Vogel initiiert. Von Forschungsfilmen aus verschiedenen Disziplinen, wie etwa Jules Massermans Aufnahmen seiner Experimente über den Effekt von Alkohol auf Katzen,⁶⁰ über universitäre und vornehmlich für die Hochschullehre bestimmten Filmen, wie etwa *Aggression and Destruction Games: Balloons* (1941, Joseph Stone) über kindliches Aggressionsverhalten, bis hin zu Bildungsfilmen wie *La Cite des Abeilles* (1946, Andrej Winnitski) oder populärwissenschaftlichen Filmen wie *Monkey into Man* (1938, Julian

⁵⁸ Briefwechsel Ehrhardt-Prandtl vom 28. 12. 1937 bis 20. 10. 1941, AMPG I/44/505 und AMPG III/61/389. Vgl. zu Ehrhardt: Christiane Stahl, *Alfred Ehrhardt: Naturphilosoph mit der Kamera*, Berlin: Reimer 2007.

⁵⁹ Konkret integrierte er im 4D-Programm beispielsweise die Filme *Haut Voltage* (1965, James Whitney), *Particles in Space* (1978, Len Lye), in dem Avanto Programm auch *Symmetricks* (1971, Stan Vanderbeek) und *Gyromorphosis* (1956, Hy Hirsch). In beiden Programmen kommen zudem späte Filme Stan Brakhages vor, wie *Ephemeral Solidity* (1993) und dann *Commingleed Containers* (1996).

⁶⁰ Der Chicagoer Psychologe wollte mit seinen Filmen die Legitimität der Psychoanalyse als wissenschaftlicher Disziplin unterstreichen. Vgl. dazu Alison Winter, »Cats on the Couch: The Experimental Production of Animal Neurosis.«, in: *Science in Context* 29/1 (2016), S. 77–105, <https://doi.org/10.1017/S0269889715000393>.

Huxley), deckten die Programme des Cinema 16 die gesamte Bandbreite wissenschaftlicher Filme ab.⁶¹

Wissenschaftliche Filme dienten dem Cinema 16 einerseits als ironischer Bruch mit der Ernsthaftigkeit mancher Experimentalfilme und andererseits als Zeugnisse der häufig unerwarteten visuellen Kraft der Zelluloidaufzeichnungen aus wissenschaftlichen Laboren.⁶² Die zentrale und für die Avantgarden typische Strategie bestand darin, das Außerkünstlerische in die Räume der Kunst zu holen. So wie das Readymade ins Museum gestellt wurde, kam das wissenschaftliche Bewegtbild ins Kino. Das Bedienen am Außen sicherte dabei nicht nur Novität – ein zentraler Wert der Kunst –, sondern auch Anschluss an das konkrete gesellschaftliche Leben oder an die Geschichte, was die Räume der Kunst häufig nicht von sich aus bieten konnten.⁶³

Zudem zeigt sich am Cinema 16 der zunehmende Einfluss der Programm-Kurator:innen für die Geschichte des Experimentalfilms. Die Agenda und das Feingefühl der Vogels war bei der Auswahl der Filme zentral. Jeder Einschluss – seien es betrunkenen Katzen, destruktive Kinderspiele oder bei Rekvelde der Strömungsfilm – musste jedoch aufs Neue innerhalb der Kunst interpretiert, umgearbeitet und damit auch gerechtfertigt werden. Auf diese Weise konnte der entkontextualisierende und ästhetisierende Blick neue Dimensionen am Außerkünstlerischen freilegen und Neubewertungen ermöglichen. An den wissenschaftlichen Filmen interessierten die Neo-/Avantgarden zum Beispiel nicht deren Qualitäten als Evidenz für Theorien oder deren Vermittlungsfunktion für militärtechnisches Wissen, sondern deren Umgang mit dem Medium Film, technische Präzision, oder wissenschaftstypischer Reduktionismus. In diesem Sinne bleibt zu fragen, aus welcher spezifischen künstlerischen Logik Rekvelde diesen spezifischen Strömungsfilm integriert hatte.

61 David Leon Higdon, *Wandering into Brave New World*, Amsterdam: Rodop 2013, S. 122.

62 Vgl. zum Anschluss an die europäischen Filmclubs: Amos Vogel, »Cinema 16 and the Question of Programming«, in: *Film Culture* 3 (1955), abgedruckt in: Scott MacDonald, *Cinema 16: Documents Toward a History of the Film Society*, Philadelphia: Temple University Press 2002, S. 261.

63 Vgl. für diese Interpretation des avantgardistischen Spiels zwischen Kunst und Nicht-Kunst: Diedrich Diederichsen, »Die Politik der Aufmerksamkeit. Visual Culture, Netzkunst und die Unterscheidung von Kunst und Nicht-Kunst«, in: Tom Holert (Hg.), *Imagineering. Visuelle Kultur und Politik der Sichtbarkeit*, Köln: Oktagon 2000, S. 70–84.

Der Fluchtpunkt Rekvels kuratorischer Praxis war die sogenannte visuelle Musik, eine auditiv-visuelle Kunstströmung, die sich vom absoluten Film bis hin zur New Media Art zieht.⁶⁴ Musik war sowohl für die ersten beiden Filmautoren im Programm Vorbild für ihre Arbeit mit Film – Chomette zufolge war Film als »symphonie visuelle« zu komponieren⁶⁵ und Moholy-Nagys *Lichtspiel* lässt sich als Versuch interpretieren, eine Lichtorgel (statt einer Kinoorgel) zu filmen – als auch für Whitney, Lye, Hirsch und Brakhage, die ihre Filme als visuelle Kompositionen verstanden (Abb. 7.10–7.12).⁶⁶

Der kuratorische Ansatz, auf visuelle Musik zu fokussieren, resultierte aus Rekvels eigener künstlerischer Praxis. Im Begleitbuch seiner DVD-Box schreibt er: »THE BEGINNING of my filmmaking was guided by the idea that light moving in time could be composed in a similar way as sound is structured in a musical piece.« Und in einem Interview zum 4D-Programm spricht er davon, dass seine Arbeitsweise eher der eines Komponisten als der eines Regisseurs gleichen würde.⁶⁷

Dass Rekvel den Strömungsfilm in diese Tradition visueller Musik einreichte, weist auf eine mögliche Sehweise des Strömungsfilms hin, die in seinen vorherigen Verwendungen implizit geblieben war. Die Nachbarschaften zur visuellen Musik lenkten die Aufmerksamkeit der Zuschauer:innen im Amsterdamer Museumskino auf die rhythmischen Bewegungen von

64 Vgl. für die kuratorische Arbeit Rekvels zur visuellen Musik in dieser Zeit auch seine anderen Programme: darunter »Visual Music from the Netherlands«, <http://www.joostrekveld.net/?p=54>, zuletzt besucht am 19. 12. 2022.

65 Henri Chomette, »Seconde Étape«, in: *Les Cahiers du Mois* 16/17 (1925), S. 86–88. Der Wille, Bilder nach dem Ideal der Musik in Bewegung zu versetzen, wird zudem in zahlreichen Filmtiteln des cinéma pur, das Chomette mitbegründete, aber auch des absoluten Films deutlich, vgl. *Rhythmus 21* (1921, Hans Richter), *Symphonie einer Großstadt* (1929, Walter Ruttmann), *Symphonie diagonale* (1923, Viking Eggeling), *Komposition in Blau* (1935, Oskar Fischinger), *Danses espagnoles* (1928, Germaine Dulac).

66 Vgl. für eine Übersicht zur Geschichte der Visual Music: Aimee Mollaghan, *The Visual Music Film*, Basingstoke: Palgrave Macmillan 2015. Insbesondere Whitney gilt als Hauptvertreter der visuellen Musik, der laut dem Filmhistoriker William Moritz seinerzeit alle darunter subsumierten Stile angewendet und weiterentwickelt hat. William Moritz, »James Whitney Retrospective«, in: Programmkatalog des Canadian International Animation Festival, Toronto 1984, veröffentlicht unter <http://www.centerforvisualmusic.org/library/WMJJamesWRetro.htm>, zuletzt besucht am 18. 3. 2023.

67 »Mijn werkwijze lijkt ook meer op die van een componist dan van een regisseur.« Edo Dijksterhuis, »Joost Rekvel presentiert 4D. Utopie van licht«, in: *filmkrant* (Sep. 2004), S. 258. Zudem war sein Lehrer an der Kunsthochschule in Den Haag, Frans Evers, ein Psychologe und Synästhetiker, der Film als Musik propagierte.

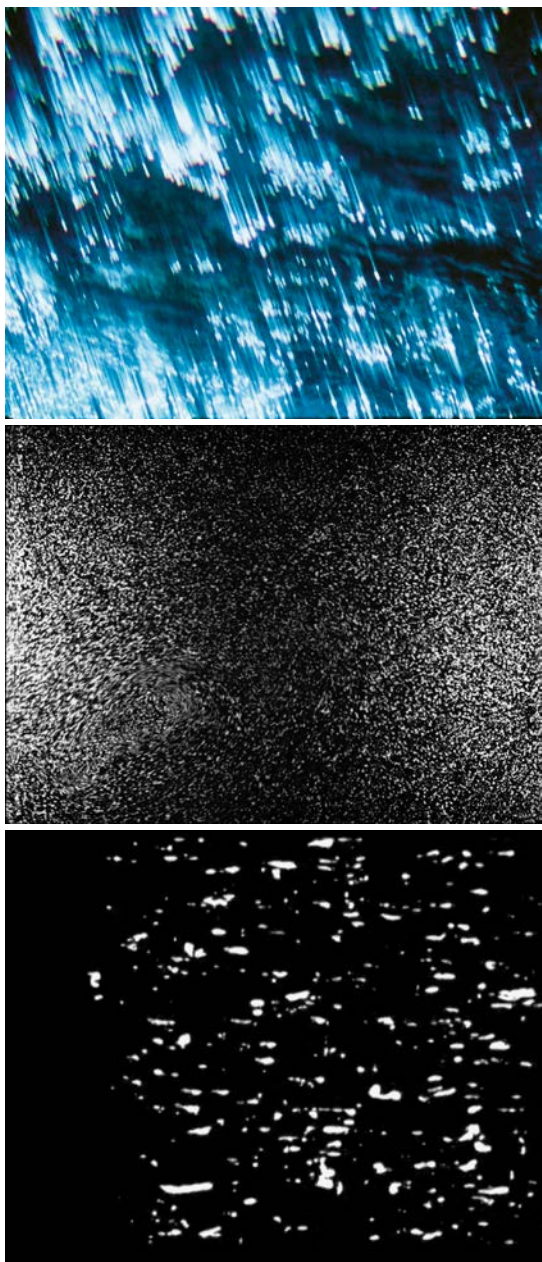


Abb. 7.10–7.12: Rekveld integrierte in seinen Programmen auch neoavangardistische Experimentalfilme, die visuelle Kompositionen sein sollten. Hier von oben nach unten: Stan Brakhages *Commingle Containers* (1996); Prandtls und Tietjens' *Entstehung von Wirbeln* (1927), Len Lyes *Particles in Space* (1978).

Schwarz und Weiß, auf die expressiven geraden und gekrümmten Linien, und auf den Tanz der Punkte um scharf abgegrenzte Konturen. Die abstrakten geometrischen Formen – Kreise, Ellipsen oder Rechtecke – passen zu den aufs Zelluloid gemalten Figuren von Hans Richter, Viking Eggeling, Walter Ruttmann und Co. (Abb. 7.13 – 7.16). Sie passen noch mehr zu den Glasspielen von Chomette und Dulac und zur industriellen Ästhetik der Großstadtsymphonien. Prandtls Film lieferte kompromisslose Maschinenästhetik in ständigen Schwarz-Weiß-Modulationen, wie sie Moholy-Nagy auch in seinem *Lichtspiel* erzeugen wollte. Mit dem *Lichtspiel* teilt Prandtls Film zudem die Analogie, dass das Experimentalsetting des Wasserkanals auch als eine Art kinetische Plastik interpretierbar ist, in der Licht auf eine bestimmte Art und Weise moduliert und kontrolliert werden kann, um neue Visualitäten und Sichtbarkeiten aufzuzeichnen.

Visuelle Musik kann – bei aller Verschiedenheit der einzelnen darunter subsumierten Stile und Künstler:innen – als Inbegriff einer Kunstströmung gesehen werden, die dem Unsagbaren, Poetischen, vielleicht sogar Transzendenten auf der Spur ist.⁶⁸ Ähnlich dem seit dem 19. Jahrhundert entwickelten Ideal einer absoluten Musik, in der instrumentelle Musik sowohl für einen reinen Gefühlsausdruck als auch für ein strenges Formprinzip stehen konnte, ist visuelle Musik meist frei von expliziten Referenzen an die Natur, die Gesellschaft oder generell an etwas außerhalb des Visuell-Musikalischen. Sie ist abstrakt, grafisch und soll unmittelbar wirken. Das ist deswegen besonders bemerkenswert, weil all das die Filmaufnahmen am Wasserkanal für Prandtl eben nicht waren. Sie referierten zumindest für Prandtl und dessen Community auf allerhand sehr konkrete Phänomene in Natur und Technik: Grenzschichten, Druckunterschiede, den Auftrieb von Tragflügeln, die aerodynamischen Formen von Autos, Zügen oder Geschossen.

Gemäß des Einführungstexts zum 4D-Programm verstand sich Rekveld als »a kind of ›spiritual antenna‹«. Er wollte als solche einen Anschluss der Technik an die Gefühlswelten der Menschen produzieren: »making new technologies and concepts emotionally accessible by translating them into new experiences.«⁶⁹ Dieser von Moholy-Nagy übernommenen Idee folgend lassen sich Rekvelds Filmprogramme als Versuch interpretieren, eine bestimmte gefühlsbetonte Lesart des Strömungsfilms vorzuschlagen: Er konstruierte für

68 Vgl. zur Ästhetik der visuellen Musik neben Mollaghan, *The Visual Music Film* (2015), insbesondere die Beiträge in den Ausstellungskatalogen: Cindy Keefer (Hg.), *Oskar Fischinger, 1900–1967: Experiments in Cinematic Abstraction*, Amsterdam: Eye Filmmuseum 2013; Kerry Brougher et al. (Hg.), *Visual Music: Synaesthesia in Art and Music Since 1900*, London: Thames & Hudson 2005.

69 Rekveld, *4D Introduction* (2004/2006).

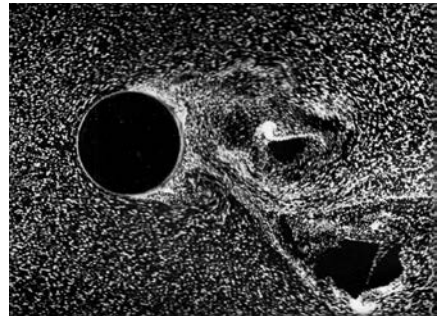
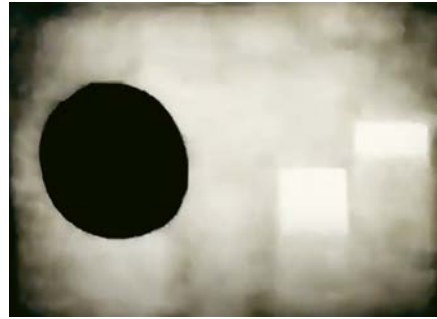
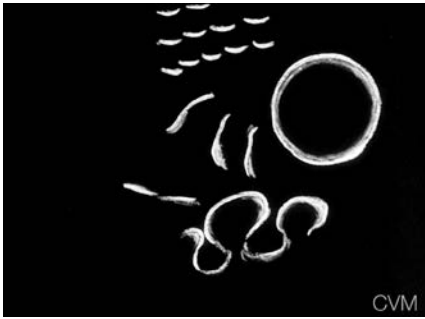


Abb. 7.13–7.16: Visuelle Ähnlichkeiten zwischen dem Strömungsfilm und einigen Klassikern der Visuellen Musik lassen sich mühelos erkennen: geometrische Formen, rhythmische Bewegungen von Punkten und Linien, Schwarz-Weiß-Modulationen. Hier im Uhrzeigersinn: Viking Eggelings *Symphonie Diagonale* (1925), Walter Ruttmanns *Lichtspiel Opus II* (1922), Prandtls und Tietjens' *Entstehung von Wirbeln* (1927), Hans Richters *Filmstudie* (1926).

den Film neue Nachbarschaften, die die technisch so einflussreiche Fluidodynamik an die Seite von rhythmischen Gestaltungen, von Erkundungen genuin menschlicher Wahrnehmungswelten, von Erlebnissen des Erhabenen und Erhebendem stellte. Sorgte die entkontextualisierende Archivierung zunächst also für eine Öffnung der Aneignungsmöglichkeiten, so führten die neuen Nachbarschaften zu einer neuerlichen, aber nun veränderten Schließung: der Strömungsfilm wurde zur Filmkunst. Das Rekvelde'sche Filmprogramm zeigt, dass sich dieser wissenschaftliche Film in eine gewisse Tradition des Experimentalfilms organisch einfügt, seine Bilder, sein Rhythmus, seine handwerkliche Qualität sind vergleichbar mit visueller Musik. Während damit eine neue Rezeptionserfahrung möglich wurde, in der die Fähigkeiten des Films, visuell zu beeindrucken und auf formaler wie emotionaler Ebene zu wirken, in den Vordergrund traten, rückten andere Sehweisen der Filmaufnahmen in den Hintergrund. In Rekvelde's Ankündigungstext zum Helsinki

Programm heißt es zum Film: »It shows a sequence of experiments dealing with the movements in fluids and has gorgeous images of turbulences and vortexes.«⁷⁰ Die Hoffnung, durch die Anschauung basale Strömungsphänomene erfassen zu können, war also nicht einfach bedeutungslos geworden. Aber die Wirbel waren in ein ästhetisches Projekt kanalisiert.

Können wir anhand der Ästhetisierung der Filmaufnahmen in den 2000er Jahren, die viel mit den spezifischen Kunstdiskursen jener Zeit zu tun hat, auch auf die Rolle der Ästhetik bei seiner Produktion im Labor oder bei seinen Wiederverwendungen schließen? Und wenn ja, wie hat sich die Ästhetik der Strömungsaufnahmen, die in der Rekveld'schen Wiederverwendung als synästhetische, rhythmisierte Ästhetik erkennbar wird, in ihrer Geschichte niedergeschlagen? Wir können darüber nur spekulieren. Den offensichtlichen Zusammenhang zwischen ästhetischem Gefallen und wissenschaftlicher Arbeit zurückzuweisen, wäre töricht – ihn jedoch konkret zu benennen, bleibt schwierig. Genauso häufig, wie Schönheit, Freude und Vergnügen an den im Experiment produzierten Bildern immer wieder als Motivation für die anstrengende, zeitraubende wissenschaftliche Arbeit bemüht werden, genauso vorsichtig waren Wissenschaftler:innen – zumindest im 20. und 21. Jahrhundert – meist darin, dieser Lust am Visuellen expliziten Ausdruck zu verleihen, geschweige denn ihr eine konkrete Rolle im Erkenntnisprozess zuzugestehen.⁷¹

Wie wir in den vorhergehenden Kapiteln wiederholt zu zeigen versucht haben, liegt es nahe, die ästhetisch-affektiv-emotionale Dimension der Strömungsaufnahmen als Teil ihrer Anziehungskraft zunächst im Labor und dann in der Akademie, in der Industrie und im Militär zu interpretieren. Die unmittelbare Klarheit der Aufnahmen überzeugte die Strömungsforschenden während Konferenzen, die kontrollierbar erscheinenden Partikelmassen des Films trafen einen visuellen Kern der nationalsozialistischen Bildwelten und der abstrakte Reduktionismus der Aufnahmen sicherte ihre Einsetzbarkeit in der US-Wissenschaftsvermittlung. Angesichts der von Rekveld konstruierten Nachbarschaften liegt es nahe, die affektive Bindung, die verschiedene Menschen mit den Filmaufnahmen eingegangen sind (sei es Prandtl selbst, Oskar Tietjens, Gotthard Wolf oder Ascher Shapiro) zumindest zum Teil auf deren visuell-rhythmische Qualitäten zurückzuführen.

70 Joost Rekveld, »Crystals and Curves in Helsinki«, 2006, Blogeintrag, <http://www.joostrekveld.net/wp/?p=205>, zuletzt besucht am 23.12.2022.

71 Vgl. für einen Überblick zur Rolle des Vergnügens bei der Produktion wissenschaftlicher Bilder: Klaus Hentschel, *Visual Cultures in Science and Technology*, Oxford: Oxford University Press 2014, S. 362–364.

Wie der Bildvergleich eingangs des Kapitels zeigen sollte, ließen die Göttinger Strömungsaufnahmen Rekvelde nicht mehr los. Sie wurden – wenn auch unbewusst – Teil seiner eigenen Filmexperimente und diffundierten so auf das Coverbild seiner DVD-Box (Abb. 7.17). In der erwähnten E-Mail an uns erläuterte Rekvelde die Entstehung des Coverbilds: Es sei aus »Experimenten« mit einer Software entstanden, die er für eine Tanzoper entwickelt hatte (Abb. 7.18). Konkret referierte Rekvelde damit auf Live-Projektionen, die er 2010 für das interdisziplinäre Musiktheaterprojekt *Double Points: OYTI* entworfen hatte. Die Kooperation des Choreografen-Duos Emio Greco und Pieter C. Scholten mit Rekvelde reichte in die Jahre 2004/05 und damit in die Zeit der Residency Rekveldes am Filmmuseum zurück.⁷² Rekveldes Live-Projektionen, die während des Stückes auf eine kreisförmige Leinwand in der Mitte des hinteren Teils der Bühne projiziert wurden, basierten auf einer von ihm – mit der Grafik-Programmiersprache OpenGL Shading Language – geschriebenen Simulationssoftware, deren Input unter anderem aus den Bewegungen eines Tänzers auf der Bühne gespeist wurde. Dessen Hände und Beine waren mit Bewegungssensoren ausgestattet, mit denen er einerseits vorab aufgezeichnete elektronische Sequenzen, die mit der Partitur des Komponisten abgestimmt waren, erzeugen konnte, und andererseits Rekveldes Live-Projektion speiste.

Der von Rekvelde für seine Computersimulation benutzte Algorithmus beruhte wiederum auf dem sogenannten FitzHugh-Nagumo-Modell, eine partielle Differentialgleichung zweiten Grades – wie auch die Navier-Stokes-Gleichung in der Fluidodynamik –, die die Ausbreitung eines Nervenimpulses als Strömungsvorgang von Wellen in anregbaren Medien simulierbar macht.⁷³ Rekvelde nutzte die mathematische Modellgleichung aus der biophysikalischen

72 Vgl. zum Projekt u. a. Laurent Bergnach, »Double Points: OYTI. chorégraphie d'Emio Greco et Pieter C. Scholten«, in: *AnaClase* 2011, <http://www.anaclose.com/chroniques/double-points>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025; vgl. auch die Homepage der Tanzkompanie Grecos und Scholtens, <https://www.ickamsterdam.com/en/company/productions/double-points-otis-34>, die Homepage Rekveldes: <http://www.joostrekvelde.net/?p=992>, zuletzt besucht 5. 1. 2023. Das Projekt, eine Zusammenarbeit mit dem deutschen Komponisten Hanspeter Kyburz, führte einen Tänzer (Greco), eine Sängerin (Yeree Suh), ein Musik-Ensemble (Het Nieuw Ensemble), ein Libretto, Live-Elektronik und die elektronisch produzierten Live-Projektionen zu einer einstündigen Tanz-Oper über die Rückkehr Odysseus zusammen. Es hatte seine Premiere im renommierten Muziekgebouw aan het IJ in Amsterdam und tourte danach nach Rotterdam und in die Cite de la Musique nach Paris.

73 Mehr zu den Hintergründen der Software führt Rekvelde auf seiner Homepage aus, <http://www.joostrekvelde.net/?p=1025>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.



Abb. 7.17: Die verschiedenen Cover der DVD-Box *Joost Rekvelde: 11 Films*.



Abb. 7.18: Im Bühnenbild zu *Double Points: OYTIS* ist im Hintergrund die von Rekvelde erstellte Projektion zu sehen, die bereits starke Ähnlichkeit mit dem späteren Coverbild aufweist.

Theorie allerdings nicht – wie in den Wissenschaften üblich – für ein numerisches Lösungsverfahren, mithilfe dessen ein gegebenes Phänomen (die Nervenimpulsausbreitung) approximativ berechnet werden soll, sondern als Grundlage für seine Grafikprogrammierung. Die Modellgleichung diente der Simulation eines dynamischen Prozesses. Die vom Algorithmus prozessierten Zahlenreihen wurden in Echtzeit verbildlicht (in dem Fall als Computergrafik gerendert), um stets neue und überraschende Visualitäten zu produzieren. Die Performanz des Modells bestand also nicht darin, Systemverhalten richtig vorherzusagen, sondern nicht-vorherzusehende Bilder zu erzeugen.⁷⁴ Nicht vorhersehbar bedeutet jedoch nicht beliebig oder zufällig.

Die von der Shading-Software auf Basis des FitzHugh-Nagumo-Algorithmus erzeugten Bilder bewegten sich in einem von Rekvelde abgesteckten Bildraum (bestehend aus vorbestimmten Konturen, konkret aus Farben und Vektoren) und waren abhängig von den von Rekvelde vorgenommenen Einstellungen der Softwareparameter. Die algorithmenbasierte Bildgenerierung entthob folglich Rekvelde nicht von künstlerischen Entscheidungen, sondern machte diese Entscheidungen komplexer. Inge Hinterwaldner spricht von semiautonomer Bildlichkeit und unterstreicht: »Wenn es also darum geht, Rechendaten perzipierbar aufzubereiten, kann man auf eine Formverwendung nicht verzichten.«⁷⁵ Bei den visuellen Experimenten, die Rekvelde in der Folge unabhängig von der Tanzoper mit der Software unternahm und aus denen letztlich das Coverbild resultierte, dienten nicht die Bewegungen einer tanzenden Person als Input, sondern die von Rekvelde vorgegebenen Inputs. Es war dieses Zusammenspiel aus künstlerischer Entscheidung und nicht-vorhersehbarer Bildgenerierung, aus Input und Algorithmus, aus Mensch und Maschine, aus Reflexion und Automatismus, in dem die Strömungsaufnahmen wieder (geisterhafte) Präsenz erhielten. Eine Präsenz, die ästhetisch nicht nur Rekvelde und die Coverdesignerin Vigier überzeugte. Der Podcaster Daniel Adams zum Beispiel begann die Folge seiner Podcast-Serie »How to enjoy experimental film«, in der er Rekvelde interviewte, mit der Faszinationskraft des Coverbilds: »I do not generally recommend judging a book by its cover but were it not for doing just that I would never have encountered [...] 11 films.«⁷⁶

74 Vgl. zur Epistemologie algorithmischer Simulation: Claus Pias, »On the Epistemology of Computer Simulation«, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 2/1 (2011), S. 29–54.

75 Inge Hinterwaldner, *Das systemische Bild: Ikonizität im Rahmen computerbasierter Echtzeitsimulationen*, München: Fink 2010, S. 139.

76 Daniel Adams, »H2EEF 11 Composing Images with Joost Rekvelde«, in: *How to Enjoy Experimental Film* 11, Podcast, 22. 4. 2021, <https://anchor.fm/h2eef/episodes/H2EEF-11-Composing-Images-with-Joost-Rekvelde-evcbk4>.

In unserem Buch ging es bis hierhin stets um die konkreten, materiell nachvollziehbaren Bewegungen der im Labor erstellten Filmaufnahmen – über wie viele Umkopierungen, Umschnitte oder Umformatierungen auch immer hinweg. Rekvels unbewusstes Remake im Digitalen löst diese materielle Kette, die letztlich immer zum Göttinger Labor zurückverfolgbar war, weitestgehend auf. Dennoch besteht eine Verbindung, so unbewusst sie gewesen sein mag. Denn im Coverbild sind die Spuren der Wasserbewegungen als Motive zu erkennen. Wie können wir diese visuelle Verbindung zwischen Strömungsfilm und Coverbild fassen, ohne dabei auf kulturpsychologische oder universalistische Konzepte von Pathosformeln oder einem etwaigen Nachleben der Bilder zurückzugreifen? Wir führen die visuelle Analogie im Folgenden einerseits darauf zurück, dass sowohl Coverbild als auch Strömungsfilm einer experimentellen Produktionspraxis entspringen, und andererseits darauf, dass sich in beiden ein ähnlicher Umgang mit Komplexität erkennen lässt.⁷⁷

Das Experiment in den ArtSciences der 2000er Jahre

Laut Hans-Jörg Rheinberger lassen sich Experimentalsysteme als »Vorkehrungen zur Erzeugung von unvorwegnehmbaren Ereignissen« respektive als gebastelte Anordnungen verstehen, die anders nicht Ausdenkbares einfangen.⁷⁸ Während Prandtl mit seinem filmischen Experimentalsystem die unvorwegnehmbare Turbulenz aufnahm, wollte Rekvel mit seiner Software einen von Menschen unausdenkbaren visuellen Raum generieren und damit die Möglichkeiten der Bildgenerierung durch Computer selbst befragen. Im Grunde sind Coverbild und Strömungsfilm also beides Ergebnisse einer experimentellen Produktion unausdenkbarer Visualitäten. Diese Analogie ist für uns von besonderem Interesse, weil sie in einen weiteren Grenzbereich zwischen Kunst und Wissenschaft hineinführt, in dem wissenschaftliche Bilder in den letzten Jahrzehnten eine zentrale Rolle gespielt haben: in die sogenannte ArtScience-Bewegung, ein künstlerisches Feld, in dem es darum

77 Wir widmen uns den Analogien. Wir könnten uns auch den Unterschieden zuwenden: der ausgeprägten Monochromität des Covers, dessen Linien statt Punkte, der nur angedeuteten *vorticity* in der Computersimulation. Der Fokus auf Unterschiede würde uns vermutlich auf die zahlreichen Diskretisierungen, Fragmentierungen und Idealisierungen hinweisen, die die digitale Simulation vornehmen muss. Vgl. zu den Kritiken an der Simulationsdynamik und ihrer Bildlichkeit Hinterwaldner, *Das systemische Bild* (2010), S. 83–94.

78 Hans-Jörg Rheinberger, »Über die Kunst, das Unbekannte zu erforschen«, in: Peter Frieze, Guido Boulboulé, Susanne Witzgall (Hg.), *Say it isn't so*, Ausst.-Kat. Museum Weserburg Bremen, Heidelberg: Kehrer 2007, S. 82–93, hier S. 87.

ging, Allianzen zwischen Kunst und Wissenschaft auf der Basis ihrer geteilten experimentellen Anlage zu finden und zu schmieden.

Rekveld war an der Institutionalisierung von ArtScience in Europa federführend beteiligt. 2004, einige Monate bevor er sein Filmprogramm mit dem Strömungsfilm zusammenstellte, wurde beispielsweise das Institut umbenannt, an dem Rekveld den Großteil seiner künstlerischen Karriere bis dato verbracht hatte: Aus der Interfaculty Image and Sound, einer Kooperation der Musik- und der Kunsthochschule Den Haags, an der Rekveld seinen Bachelor und Master abgelegt hatte und an der er seit Mitte der 1990er Jahre als Dozent arbeitete, wurde die ArtScience Interfaculty, deren Leitung er dann 2008 übernehmen sollte. Sowohl RekvelDs Programmierung des Strömungsfilms als auch seine unbewusste Verarbeitung des Films in seinen eigenen computerbasierten Bewegtbildern müssen daher im Kontext der Neuausrichtung des Instituts gesehen werden, dem er seine Sozialisation als Künstler verdankte und an dem er seine professionelle Zukunft suchte. Wahrscheinlich war es nicht zuletzt die Identitäts- und Legitimationssuche des künstlerisch-akademischen Feldes der ArtScience, die seine Arbeit mit wissenschaftlichen Filmen anleitete und die seine künstlerische Produktion in die Nähe des Strömungsfilms brachte.

Während die oft beschworene Trennung zwischen den Künsten und den Wissenschaften überhaupt erst ein Produkt ihrer getrennten Institutionisierungen in der westlichen Moderne ist, rekurriert die Bezeichnung ArtScience (wahlweise auch Artsci oder Sciart) auf ein spezifisches neoavantgardistisches Kunstfeld, das in den 1960er Jahren in den USA entstand und zeitweise enormen Einfluss auf die Kunstwelt entwickelte. Zu den prominentesten Programmen der ArtScience gehört das Dreigestirn aus Experiments in Art and Technology der Bell Laboratories in New Jersey (E.A.T.), die Art and Technology Residency des Los Angeles County Museums (A&T) und das Center for Advanced Visual Studies am MIT (CAVS), die alle 1966/67 gegründet wurden.⁷⁹ Diese Programme propagierten eine experimentelle, prozessorientierte und kollaborative Kunstpraxis in der Tradition des Bauhauses und der europäischen Avantgarden, sie entsprangen aber zugleich dem zeitspezifischen Technikoptimismus der US-amerikanischen Nachkriegszeit. Ihre Bestimmung lag vornehmlich darin, durch die Verknüpfung postdisziplinärer Expertisen aus Kunst und Wissenschaft technologische Innovationen zu beschleunigen

⁷⁹ Einen guten Literaturüberblick liefert Walker Downey, »Rebooting the Art-and-Technology Movement: A Review of W. Patrick McCray's *Making Art Work: How Cold War Engineers and Artists Forged a New Creative Culture*«, in: *Interdisciplinary Science Reviews* 46/4 (2021), S. 716–734, <https://doi.org/10.1080/03080188.2021.1885863>.

und Lösungen gesellschaftlicher Probleme anzubieten. John Beck und Ryan Bishop sprechen in ihrer Geschichte der ArtScience-Institutionen gar von einer »Military-Industrial Avantgarde«. ⁸⁰ Die ArtScience-Programme verloren nach dem Vietnamkrieg zunehmend an Einfluss auf die Kunstwelt, weil sie in Verdacht gerieten, eine technokratische Elite und das imperiale Projekt der USA zu stützen. ⁸¹ Obwohl einige Programme aufgelöst wurden (so auch E.A.T und A&T), verschwand das ArtScience-Feld nicht. Die Zeitschrift *Leonardo* und die aus dieser entstandene International Society for the Arts, Sciences and Technology existieren bis heute.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts erlebten ArtScience-Initiativen insbesondere im Rahmen der Medienkunst eine Renaissance. Die Interfaculty in Den Haag kann als eine der ersten ArtScience-Institutionalisierungen im Hochschulbereich in Europa gelten. Die neuerlichen Institutionalisierungsversuche bezogen sich häufig explizit auf die genannten Vorgängerprogramme der 1960er Jahre, ohne dabei jedoch deren Genealogien kritisch zu reflektieren. ⁸² Tom Holert zufolge sind die jüngeren ArtScience-Initiativen im Zusammenhang mit postfordistischen Produktionsutopien durch kreative Arbeit zu sehen. ⁸³ Der zunehmend deregulierte Arbeitsmarkt eines wissensbasierten Kapitalismus verlangte nach höherer Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Unternehmertum. Beispielsweise wurden die Künste im Zuge des Bologna-Prozesses entsprechend den Maßgaben der Nützlichkeit, Handhabbarkeit und Verwertbarkeit zu Modellfächern »eines neuen *impact*-Paradigmas«. ⁸⁴

80 John Beck, Ryan Bishop, *Technocrats of the Imagination: Art, Technology, and the Military-Industrial Avant-Garde*, Durham, NC: Duke University Press 2020. Ähnlich hat vorher bereits Matthew Wisnioski argumentiert: Matthew Wisnioski, »Why MIT Institutionalized the Avant-Garde: Negotiating Aesthetic Virtue in the Postwar Defense Institute«, in: *Configurations* 21/1 (2013), S. 85–116, <https://dx.doi.org/10.1353/con.2013.0006>.

81 Anne Collins Goodyear, »From Technophilia to Technophobia: The Impact of the Vietnam War on the Reception of ›Art and Technology‹«, in: *Leonardo* 41/2 (2008), S. 169–173, <https://doi.org/10.1162/leon.2008.41.2.169>.

82 Vgl. für das hier gegebene historische Narrativ der *Artscience* auch: Patrick McCray, *Making Art Work: How Cold War Engineers and Artists Forged a New Creative Culture*, Cambridge, MA: MIT Press 2020. Die Gründung der Interfaculty Image and Sound durch Frans Evers und Dick Raaijmakers kann, wie Frans Evers in seinem autobiografisch gefärbten Buch *The Academy of the Senses* (Den Haag: ArtScience Interfaculty Press 2012) ausführt, auf den direkten Einfluss John Cages zurückgeführt werden, der als einer der wichtigsten Akteure in der Experimentalisierung der Neuen Musik gelten kann und zu den zentralen Figuren im E.A.T. gehörte. Auch Rekveld führt John Cage als Motivation an, überhaupt Künstler zu werden.

83 Tom Holert, »Künstlerische Forschung. Anatomie einer Konjunktur«, in: *Texte zur Kunst* 82 (2011), S. 38–63.

84 Heike Roms, »Forschung in den Ruinen der Universität?«, in: Sibylle Peters (Hg.), *Das Forschen aller*, Bielefeld: transcript 2013, S. 205–224, hier S. 209. In eine ähnliche Richtung

Ein 17-seitiges Dokument, das zur Ankündigung der ArtScience Interfaculty in Den Haag 2004 erschien und das neue Curriculum beschreibt, zitiert die einschlägigen Stichworte der Wissensgesellschaft und rahmt ArtScience als bildungspolitische Innovation: »the creative process«, »multi-gifted students«, »explorative talents«, »knowledge production«, »new media« oder »new technologies« kommen darin zusammen.⁸⁵ Eine wichtige Referenz im Ankündigungstext ist zudem der Begriff der »information society«, den Daniel Bell bereits 1973 in seinem Buch *The Coming of Post-Industrial Society* prägte und der in den Debatten zur Wissensgesellschaft als Menetekel ihrer neoliberalen Herkunft gilt. Gemein hatten die neuerlichen ArtScience-Initiativen mit ihren Vorgängerprogrammen die Suche nach dem Innovativen oder Neuen, auch wenn das Neue nicht mehr auf militärisch-technologische Innovationen ausgerichtet war.

Das Curriculum der ArtScience Interfaculty in Den Haag von 2004 schlug – ganz in der Tradition der Vorgängerprogramme – methodisch vor, die künstlerische Produktion als experimentelle Forschung auszulegen und diese folglich an den Naturwissenschaften zu orientieren:

Teachers and students are involved in initiating creative processes that may take the form of experiments that can be considered as scientific exploration and artistic research at the same time. One of the consequences of this will be a fusion of the art studio with the scientific laboratory.⁸⁶

Die Idee, dass ein forschender Ansatz und insbesondere das Experiment bei einer Neuformation von Wissenschaft und Kunst helfen, und Kollaborationen zwischen den beiden Sphären ermöglichen könnte, wurde im Laufe der 2000er und 2010er Jahre in zahlreichen Publikationen europäischer Kunsthochschulen propagiert.⁸⁷ Dabei gerieten mehr und mehr auch jene oben bereits anzitierten Theoriestränge aus der Wissenschaftsforschung

argumentieren auch: Charlotte Sleigh, Sarah Craske, »Art and science in the UK: a brief history and critical reflection«, in: *Interdisciplinary Science Reviews* 42/4 (2017), S. 313–330. Vgl. auch: Henk Borgdorff, »The Mode of Knowledge-Production in Artistic Research«, in: Sabine Gehm, Pirkko Husemann, Katharina von Wilcke (Hg.), *Knowledge in Motion. Perspectives of Artistic Research and Scientific Research in Dance*, Bielefeld: transcript 2007, S. 73–79.

⁸⁵ Anonym, *The Domain ArtScience*, 19. 3. 2004. Heruntergeladen von der mittlerweile nur noch über das Internet Archive zugänglichen Homepage, <https://web.archive.org/web/20040427024638/http://www.interfaculty.nl:80>, zuletzt besucht am 11. 1. 2023.

⁸⁶ Ebd.

⁸⁷ Einen Überblick zum Stand der Debatte in dieser Zeit liefert: Michael Schwab, »Introduction«, in: Ders. (Hg.), *Experimental Systems: Future Knowledge in Artistic Research*, Leuven: Leuven University Press 2016, S. 5–14.

in den Fokus, die das Experiment als komplexe raumzeitliche Praxis der Künste wie der Wissenschaften interpretieren, wie etwa Hans-Jörg Rheinbergers *Toward a History of Epistemic Things* von 1997. Wir konnten zwar nicht rekonstruieren, inwiefern Rekveld bereits zur Zeit seiner Residency mit den Ideen Rheinbergers vertraut war. Spätestens in den 2010er Jahren wurden Rheinberger und dessen Idee des Experimentalsystems sowie Andrew Pickering und dessen Idee einer »mangle of practice« jedoch explizit zu zentralen Referenzen in Rekvelds Arbeit. Mehr und mehr ging er – davon zeugen die Einträge auf seinem Blog und seine Talks in den 2010er Jahren – der Epistemologie des Experiments selbst nach, wobei ihn Fragen beschäftigten, wie etwa: Wodurch kommt das Neue in die Welt oder wie lässt sich das Unvorhersehbare erkennen, wenn man es noch nicht bestimmen kann?⁸⁸

Rheinberger hat die forschende Qualität des Experiments so beschrieben: »Das Experiment ist, wenn man so will, eine Suchmaschine, aber von merkwürdiger Struktur: Sie erzeugt Dinge, von denen man immer nur nachträglich sagen kann, dass man sie hätte gesucht haben müssen.«⁸⁹ Gesucht hatte Rekveld freilich nicht seine Erinnerungen an den Strömungsfilm, sondern Bilder von ästhetischer Wirkmacht. Er fand (zusammen mit Vigier) ein Bild von besonderer grafischer Qualität in dem unbewussten Amalgam aus Prandtls Strömungsfilm und seinen Prozessbildern. Rekveld experimentierte mit dem

88 Siehe zum Beispiel: Joost Rekveld, *Dialogues with Machines*, VectorHack Festival Ljubljana, 7. 10. 18, https://www.youtube.com/watch?v=KsL4JeHvRvk&t=528s&ab_channel=VectorHack-Festival, oder <http://www.joostrekveld.net/?p=1767>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025. Es scheint, als hätte die verstärkte Rezeption von Rheinbergers Ansichten zum Experimentieren erst Ende der 2000er Jahre eingesetzt. Das liegt auch an Rheinberger selbst, der 2007 den oben zitierten Text »Über die Kunst« für die Ausstellung *Say it isn't so* und 2009 einen Text für Texte zur Kunst geschrieben hatte: Hans-Jörg Rheinberger, »History of Science with George Kubler«, in: *Texte zur Kunst* 19/76 (2009), S. 109–112. Vor allem Henk Borgdorff, der ebenso wie Rekveld in Den Haag lehrte, hat Rheinberger in die niederländische Debatte über künstlerische Forschung eingeführt. Zuerst hier: Henk Borgdorff, »The Production of Knowledge in Artistic Research«, in: Michael Biggs, Henrik Karlsson (Hg.), *The Routledge Companion to Research in the Arts*, London: Routledge 2011, S. 44–63. Rekvelds künstlerische Praxis lässt sich als practice-based Science (and Technology) Studies verstehen, wie sie in den letzten 20 Jahren verschiedentlich diskutiert worden ist. Vgl. für die aktuelle Literatur zur künstlerischen Wissenschaftsforschung neben den Arbeiten Borgdorffs auch: Hannah Rogers et al., *Routledge Handbook of Art, Science, and Technology Studies*, Milton: Taylor and Francis 2021. Für den niederländischen Kontext einschlägig auch Lucy Cotter, ehemalige Leiterin des Master Artistic Research an der Royal Academy of Art and Royal Conservatoire in Den Haag: Lucy Cotter, »Reclaiming Artistic Research – First Thoughts ...«, in: *MaHKUscript: Journal of Fine Art Research*, 2/1 (2017), S. 1–6, <https://doi.org/10.5334/mjfar.30>.

89 Rheinberger, »Über die Kunst« (2007), S. 89.

Algorithmus und schuf dadurch ein Experimentalsystem mit offenem Ausgang. Erst im Nachhinein stellte sich für uns als Rezipient·innen seiner Kunst eine visuelle Analogie zu Prandtls Experimenten heraus. Vor dem Hintergrund der hier nur ganz grob umrissenen Geschichte der ArtScience-Bewegung im Hinblick auf ihre neuerliche Inkarnation als künstlerische Forschung im Experimentellen, lässt sich das Coverbild verschieden interpretieren. Einerseits können wir darin ein eigentümliches Beispiel für die in der ArtScience-Bewegung erhoffte Fusion von Studio und Labor erkennen, weil es selbst ein maschinenproduziertes aber gleichzeitig unbewusstes Studio-Remake eines 80 Jahre alten Laborfilms ist. Und andererseits spiegelt sich in dem Coverbild eine gewisse Kontextblindheit der ArtScience-Bewegung: Das Coverbild orientiert sich – ob bewusst oder unbewusst – an einem Vorbild, lässt dessen Referenz, Geschichte und Politiken aber ungesagt und unreflektiert.

New Media Art oder analoge und digitale Simulation

Die zweite strukturelle Analogie zwischen Coverbild und Strömungsfilm betrifft den in ihnen zum Ausdruck kommenden Versuch, Komplexität greifbar zu machen. Der Medientheoretiker und Künstler Lev Manovich diagnostizierte 2004 ein ästhetisches Leitprinzip in vielen computerbasierten Bewegtbildarbeiten seiner Gegenwart: »[they] follow the aesthetics of complexity, invoking complex systems in natural world«. ⁹⁰ Damit zog Manovich eine genealogische Linie zwischen der modernistischen Abstraktion, wie sie beispielsweise für den absoluten Film typisch war, und der digitalen Abstraktion der New Media Art. Allerdings würde Letztere nicht die Reduktion auf einzelne geometrische Elemente anstreben, wie es die abstrakte Moderne tat (das schwarze Quadrat), sondern sie wolle die Komplexität der Welt mit einfachen geometrischen Elementen darstellen. Insbesondere dynamische Systeme, die zwischen Ordnung und Chaos oszillieren, zwischen Kontrollierbarkeit und Zufall, würden ästhetisch aufgerufen.

Interessant ist nun, dass Manovichs Beschreibungen sowohl auf Rekvelds Arbeit mit biophysikalischen Modellen zur Bildgenerierung als auch auf Prandtls Aufnahmen vom Wasserkanal passen. Anders gesagt, die Aufnahmen Prandtls stammen zwar aus den 1920er Jahren, entsprechen aber den von Manovich diagnostizierten ästhetischen und inhaltlichen Tendenzen der Medienkunst der 2000er: klare geometrische Formen, die

⁹⁰ Lev Manovich, »Abstraction and Complexity«, in: Künstlerhaus Wien, Sandro Droschl, Norbert Pfaffenbichler (Hg.), *Abstraction Now*, Wien: Edition Camera Austria 2004, S. 80–85.

von einer Vielzahl von Punkten umringt werden, die teilweise wiederum klar nachvollziehbare Muster bilden, sich aber immer wieder in chaotisch wirkenden, hochkomplexen Bewegungen auflösen. Generell lässt sich sagen, dass die Strömungsvisualisierung ein paradigmatischer Fall der Darstellung eines komplexen Systems zwischen Ordnung und Chaos ist. In Rekvels *Remake* treffen folglich zwei Bildwelten der Komplexität aufeinander: einmal computer- und algorithmenbasierte und einmal materielle und optisch basierte. Diese Strukturanalogie liefert zunächst eine weitere mögliche Erklärung dafür – neben der Verwandtschaft des Strömungsfilms mit visueller Musik –, warum Rekveld die Aufnahmen des Strömungsfilms nicht losließen. Sie entsprachen seinem künstlerischen Umfeld in den 2000er Jahren.⁹¹

Die Analogie erzählt uns auch etwas Neues über den Strömungsfilm. Sie weist darauf hin, dass das Experimentalsystem aus einem Wasserkanal, der eine Bewegung, ein natürliches Phänomen generiert, und der Kamera, die das Phänomen aufnimmt, in ihrer Logik der Computersimulation ähnelt, die aus einem Algorithmus, der bestimmte Werte symbolisch generiert, und einem grafischen Interface, das diese Werte dann in Bilder übersetzt, besteht. Mit anderen Worten macht uns das Coverbild darauf aufmerksam, dass in Prandtls Strömungsaufnahmen eine Genealogie der Computersimulation verborgen ist: Wind- und Wasserkanäle können als Analogsimulatoren gesehen werden, weil sie etwas simulieren, was zwar mathematisch beschrieben, aber in den meisten Fällen nicht berechnet werden konnte. Als solche sind sie früh als Vorbild für Computersimulationen theoretisiert worden – etwa von John von Neumann.⁹²

⁹¹ Genau dieses medienkünstlerische Umfeld spiegelt sich zum Beispiel in den Seminaren und Vorlesungen, die Rekveld zu dieser Zeit gab: »Pattern and Visualization: L-Systems« zusammen mit Joel Ryan für die ArtScience Interfaculty, 2005/2006, oder »Machine Mediated Vision« für MediaTechnology an der Leiden University, 2006–2010. Rekveld, der seine ersten künstlerischen Gehversuche am Atari machte, sich dann lange dem Zelluloid widmete und erst Ende der 2000er wieder zum Computer zurückfand, war zudem gefesselt von Systemtheorien, Kybernetik und Autopoiesis – alles Theorien der Komplexitätsreduktion. Rekvels Blog bespielte in der Zeit die Faszinationswelten von Emergenz und Selbstorganisation, von Partikeln und daraus entstehenden Mustern, von »evolving pixelnetworks«, <http://www.joostrekveld.net/?p=1043>, zuletzt besucht am 30. 1. 2023. Er nennt zudem in anderen Beiträgen George Spencer Browns Buch *Laws of Form*, Jacob von Uexküll, Alan Turing und die Säulenheiligen der Systemtheorie, Francisco Varela, Heinz von Förster oder Herbert Maturana als Inspiration.

⁹² Eric Winsberg, *Science in the Age of Computer Simulation*, Chicago: University of Chicago Press 2010, S. 35. Siehe auch: Hannah Zindel, »Werkzeug Windkanal. Simulationen in der Stadtklimaforschung«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 10/2 (2018), S. 54–67, <https://dx.doi.org/10.25969/mediarep/1437>.

Wenn wir also das Coverbild heranziehen, um etwas über die ästhetischen und gestalterischen Qualitäten des Strömungsfilms zu erfahren, dann können wir festhalten, dass diese Qualitäten mitunter auf den komplexen Verhältnissen von intendiertem Erzeugen und automatisiertem Aufzeichnen, von Intervenieren und Loslassen, von Passierenlassen und Auswählen beruhen, die analoge Simulationen bedingen und ermöglichen. In den computersimulierten wie den analog simulierten Bewegtbildern von Strömungen sehen wir eine kontinuierliche Folge sich ständig verändernder Anordnungen, die immer wieder mehr oder weniger bedeutungsvolle Muster hervorbringen, was einen hypnotischen transitorischen Effekt haben kann. Visuell entsteht ein Zusammenspiel von Ordnung und Chaos, das zwischen Komplexität und Einfachheit genauso changiert wie zwischen Kontrollphantasie und Unkontrollierbarkeit; ein Zusammenspiel, das wohl gerade aufgrund dieses Changierens seine Betrachter:innen zu affizieren vermag – und zwar ganz unabhängig von dem fluiddynamischen Wissen, das in diesen Bildern zu erkennen sein mag.

Im 21. Jahrhundert, lange nach seiner Produktion, wurde der Strömungsfilm wie ein Kunstwerk behandelt. Vieles, was vorher in unserer Geschichte des Films latent blieb, konnten wir durch die Wiederverwendung im Kunstbereich deutlicher explizieren: die ästhetische Qualität des Films als rhythmische Komposition, als eine Art visueller Musik oder als komplexes Spiel zwischen Ordnung und Chaos. Auch seine Fähigkeit zu affizieren, seine Beeindruckungsqualität und seine Umdeutbarkeit erweisen sich in dieser Episode eindrücklicher als zuvor. Die Faszination um 2004 war aber nicht die Faszination von 1927. Entsprechend ist die Wiederentdeckung des Films im Feld der Kunst seit den 2000er Jahren vor dem Hintergrund der visuellen Kultur dieser Zeit zu interpretieren. Eine Zeit, in der sich Traditionslinien der Avantgarden und des Experimentalfilms treffen, eine Zeit, in der in den Archiven nach den Rändern der Filmgeschichte gefahndet wurde, eine Zeit der New Media Art, der Computersimulationen und der ArtScience-Initiativen.

All diese historischen Gegebenheiten sind nicht nur ein Schlüssel dafür, sozusagen »rückwärts« etwas über den Film zu lernen, sondern umgekehrt ermöglicht die Geschichte des Films auch ein neues Verständnis dieser Zeit und ihres Umgangs mit wissenschaftlichen Bildern. Einer Zeit, in der die Faszination für wissenschaftliche Bilder sich häufig in einer Faszination für deren ästhetisch-formale Kraft, für die Apparate, mit denen sie produziert wurden, oder für die experimentellen Settings, denen sie entstammen, erschöpfte, in der aber deren Historizität, deren Politiken, deren relationale Kraft in machtvollen Settings nur selten zum Gegenstand wurden.

Kapitel 8

Digitalfilm, 2009–2019

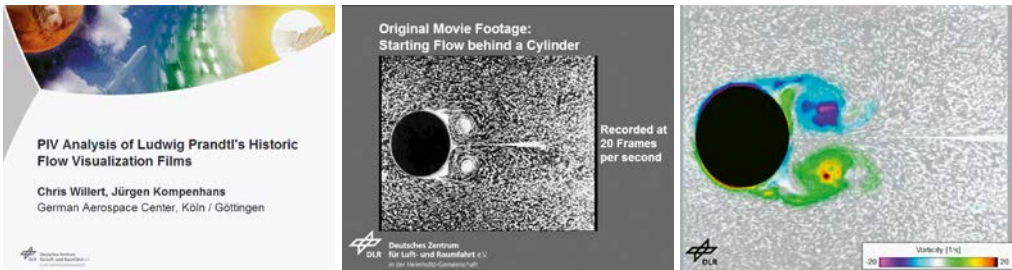


Abb. 8.1: 2009 erstellten Chris Willert und Jürgen Kompenhans eine PIV-Analyse des Strömungsfilms. Der eingefärbten Strömung vorangestellt ist ein Standbild, das dem Corporate Design des DLR Raum gibt. Darauf folgt die Ankündigung des »Original Movie Footage«. Die anschließende Wiedergabe der digitalisierten Strömungsaufnahmen ist stockend und stoppt nach fünf Sekunden. Erst darauf folgt die bunt visualisierte Strömung.

2009 wird der Strömungsfilm farbig. Der schwarze Zylinder trägt neu eine bunte Korona mit einer Schleppe in Blaulila- und Gelbgrün-Tönen (Abb. 8.1). Die Strömung ist weiß-grau, als würde ein Filter das historische Material bedecken. Nur der Zylinder erscheint in sattem Schwarz. Liest man die Farben mit der Skala in der rechten unteren Ecke zusammen, wird klar, dass die bunten Bereiche Informationen zur *vorticity*, also zur Wirbelstärke liefern, die die Drehung von Fluiden um ihre eigene Achse beschreibt und eine zentrale Größe der Strömungsmechanik ist. Im positiven *vorticity*-Bereich, also den roten bis grünen Tönen der Skala, dreht sich das Fluid im Gegen-uhreigersinn, im negativen, blauvioletten Bereich im Uhrzeigersinn. Die Farben visualisieren Messdaten, die aus dem digitalisierten Filmmaterial gewonnen wurden. Durch die Einfärbung, die sich am Spektrum des sichtbaren Lichts orientiert, tritt die Wirbelbildung visuell stärker hervor und die – insbesondere für das ungeschulte Auge schwer erkennbaren – Rückströmungen werden deutlicher erkennbar.

Die bunten Bewegungsbilder der über 80 Jahre alten Strömung sind Teil der *PIV Analysis of Ludwig Prandtl's Historic Flow Visualization Film*, ein Video von Chris Willert und Jürgen Kompenhans vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR. PIV steht für Particle Image Velocimetry, einem

computergestützten, aber letztlich optisch basierten Analyseverfahren für Strömungen, das seit den 1980er Jahren entwickelt wurde und heute zu den Standardmethoden in der Strömungsforschung gehört. Kompenhans, zur Zeit der Veröffentlichung des Videos Leiter der Abteilung Experimentelle Methoden am DLR, und Willert, Leiter der Abteilung Triebwerksmesstechnik, spielten selbst eine maßgebliche Rolle in der Entwicklung von PIV.

Mit der PIV-Auswertung wurde der Strömungsfilm 80 Jahre nach seiner Produktion erneut zum Konferenzfilm in der fluiddynamischen Community. Willert und Kompenhans führten ihr Video auf mindestens vier großen internationalen Konferenzen vor: in Melbourne, Minneapolis, Long Beach und Daegu, Südkorea.¹ So wurden die Strömungsaufnahmen Teil eines relativ jungen Publikationsformats der Wissenschaften: eines visuellen Papers² – ein Medienverbund aus Text und Video, das online zugänglich ist und in Wettbewerben evaluiert wird.³ Bei dem Wettbewerb in Daegu gewannen Willert und Kompenhans den Best Movie Award. Ein verschwommenes Foto, das uns der Organisator des 14. ISFV-Meeting Kyung Chun Kim zugeschickt hat, zeigt ihn und Kompenhans mit der Urkunde in seiner linken Hand (Abb. 8.2 und 8.3).⁴

Der Wissenschaftshistoriker Alex Csiszar hat in seiner Geschichte des *scientific journal* hervorgehoben, dass Publikationsformate epistemische wie politische Konsequenzen haben.⁵ Die Formate der Wissenschaft sind sowohl Produkt als auch Produktionsstätte der Glaubwürdigkeit und Legitimität von Wissen, Autor·innen und Institutionen. In diesem Kapitel folgen wir den Strömungsaufnahmen im 21. Jahrhundert bis zu

1 Konkret beim 8. International Symposium on Particle Image Velocimetry im Sommer 2009 in Melbourne, dann am 62. Annual Meeting der American Physical Society (APS), Division of Fluid Dynamics, im Herbst 2009 in Minneapolis sowie am darauffolgenden 63. APS-Meeting 2010 in Long Beach und am 14. International Symposium on Flow Visualization (ISFV) 2010 in Daegu, Südkorea.

2 Eine einheitliche Bezeichnung hierfür hat sich bis heute nicht durchgesetzt, verwandt damit wäre die des Video-Papers.

3 Christian Willert, Morteza Gharib, Jürgen Kompenhans, »PIV Analysis of Prandtl's Flow Visualization Movies«, am: *62nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics* 54/19, Minneapolis (2009), <https://meetings.aps.org/Meeting/DFD09/Session/ML.1>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025; Christian Willert, Jürgen Kompenhans, »PIV Analysis of Ludwig Prandtl's Historic Flow Visualization Films«, am: *63rd Annual APS-DFD Meeting*, Long Beach (2010), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1010.3149>; vgl. auch https://www.dlr.de/en/media/videos/2010/particle-image-velocimetry-piv-analysis-of-ludwig-prandtl-s-historic-flow-visualization-films_17464, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.

4 Vgl. Mailkorrespondenz der Autor·innen mit Kyung Chun Kim, Februar 2024.

5 Alex Csiszar, *The Scientific Journal. Authorship and the Politics of Knowledge in the Nineteenth Century*, Chicago, London: University of Chicago Press 2018, S. 3.



Abb. 8.2 und 8.3: Foto der Preisverleihung des Best Movie Award beim 14. International Symposium on Flow Visualization in Daegu, Südkorea, 2010, mit Kyung Chun Kim und Jürgen Kompenhans, sowie die Urkunde zum Preis.

einem, durch die Digitalisierung bedingten, Umbruch in der Geschichte des wissenschaftlichen Publizierens, der bis in die Gegenwart andauert. Um den durch die Digitalisierung veränderten Auswertungs- und Publikationsmöglichkeiten wissenschaftlicher Filme nachzugehen, widmen wir uns den konkreten Initiativen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film, wissenschaftliche Bewegtbilder online zugänglich, zitierbar und dauerhaft auffindbar zu machen. Und wir folgen den digitalen Versionen und Reformatierungen des Strömungsfilms, die in dem visuellen Paper Willerts und Kompenhans' mündeten. Zugleich ist es auch ein Kapitel über die Bilderwettbewerbe, mittels derer die ästhetische Qualität von Strömungsaufnahmen legitimiert und abgesichert werden sollte, über die Geschichtspolitik des digitalen Wandels und ein Plädoyer für die historische Forschung.

Bild- und Filmwettbewerbe

Lorraine Daston und Peter Galison widmen im letzten Kapitel von *Objectivity* »Representation to Presentation« den fluiddynamischen Bilderwettbewerben einen längeren Abschnitt. Darin identifizieren sie die digitalen fluiddynamischen Bildersammlungen als Nachfolger von Atlanten.⁶ Milton van Dykes

6 Lorraine Daston, Peter Galison, *Objektivität*, übersetzt aus dem Amerikanischen von Christa

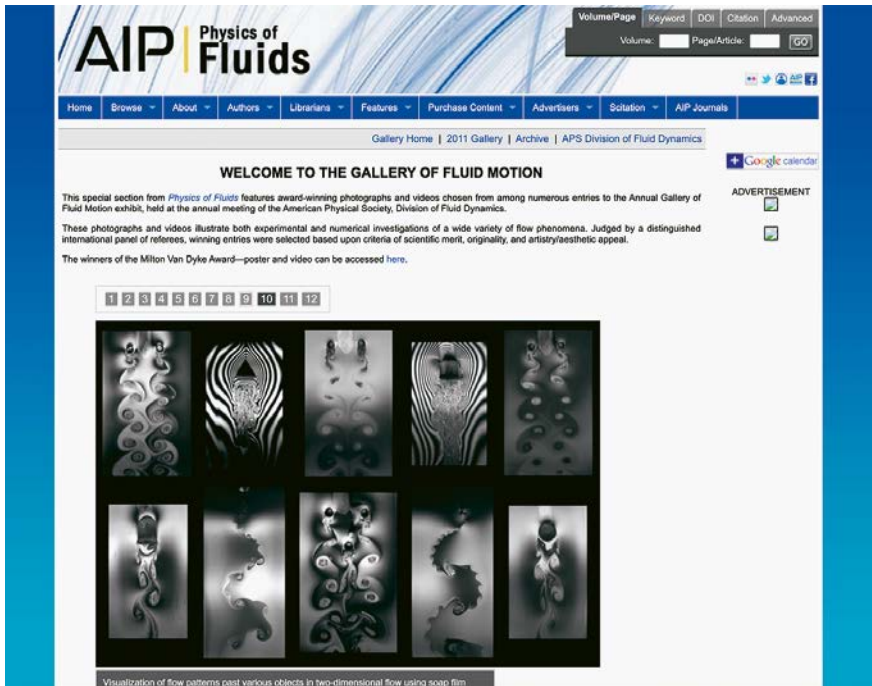


Abb. 8.4: Milton Van Dykes *An Album of Fluid Motion* von 1982 inspirierte die American Physical Society, einen Fotowettbewerb zu lancieren. Hier zu sehen ist ein Beispiel für einen Milton Van Dyke Award Winner aus der Gallery of Fluid Motion von 2012.

bereits erwähnter einflussreicher und ästhetisch spektakulärer Bildatlas für Fluidodynamik, *An Album of Fluid Motion* von 1982, hatte die American Physical Society (APS) 1983 dazu angeregt, einen Fotowettbewerb zu lancieren und die *Annual Picture Gallery of Fluid Motion* zu gründen. Ab 2000 veröffentlichte die Zeitschrift *The Physics of Fluids* jeweils das beste Bild im Internet,⁷ spätestens ab 2009 und nach der APS-Konferenz in Minneapolis, auf der Willerts und Kompenhans' PIV-Analyse uraufgeführt wurde, hatte *A Gallery of Fluid Motion* einen Webauftritt bei der Zeitschrift (Abb. 8.4),⁸ ab 2014 dann eine eigene Subdomain bei der APS. Auf der Startseite steht: »The Gallery of Fluid Motion is intended to be a visual record of the aesthetic

Krüger, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2007, S. 407. Sie sprechen diesbezüglich auch von einem »atlasähnliche[n] Zuhause« oder von neueren Formen der Atlanten (S. 413, S. 438).

7 Ebd., S. 428–429.

8 Vgl. *A Gallery of Fluid Motion*, Internet Archive, https://web.archive.org/web/20101001092150/http://pof.aip.org/gallery_of_fluid_motion, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.

and science of contemporary fluid mechanics, to be shared both with fellow researchers and the general public.« Die Einreichungen würden nach den beiden Kriterien »striking visual qualities« und »scientific interest« beurteilt.⁹

Gemäß Daston und Galison unterscheiden sich diese neueren Formen der Bildergalerie insofern von den Atlanten, als dass sie Bilder versammeln, die nicht mehr in erster Linie repräsentieren, sondern präsentieren. Die Bilder sollen Merkmale hervorheben oder Kommendes ankündigen, sie sollen etwas ausstellen, »wie Waren im Schaufenster« und gezielte Optimierungen zeigen.¹⁰ Weil nun die Bilder ihre Phänomene nicht mehr wiedergeben, sondern präsentieren, könnten sie – nachdem sie von der Askese der mechanischen Objektivität und der Interpretation des geschulten Urteils befreit waren – leichter die Grenze zur Kunst überschreiten, ja zur »eigene[n] Kunst« werden. Damit seien Bilder zu Werkzeugen geworden, die mit einem neuen wissenschaftlichen Selbst zusammenhängen, »einer Mischgestalt, die sehr oft wissenschaftliche Zwecke verfolgt, aber mit dem Blick auf technische, industrielle Anwendbarkeit und sogar mit ästhetisch-künstlerischen Ambitionen.«¹¹ Bemerkenswerterweise zeigt das Cover der deutschen Ausgabe von *Objectivity* ein fluiddynamisches Bild, das sich mit diesen Charakterisierungen hervorragend vereinen lässt (Abb. 8.5): Eine Kármán'sche Wirbelstraße, fotografiert von Sadatoshi Taneda, aus van Dykes *An Album of Fluid Motion*, jenem Buch, das Daston und Galison als Vorbild und Vorläufer der Bildergalerien anführen (Abb. 8.6).¹²

Auch Willert und Kompenhans, die Prandtls Strömungsfilm zu einem Wettbewerbsbeitrag machten, ging es nicht (oder nicht nur) um die Repräsentation eines Phänomens (also die Wirbelbildung), sondern vielmehr um die Präsentation ihrer Visualisierungsmethode und um deren Marketing. Wie wir im dritten Kapitel anhand der Filmvorführungen bei internationalen Konferenzen herausgearbeitet haben, spielten bereits in den 1920er Jahren Präsentationsformate und die mit ihnen verbundenen ästhetischen Erfahrungen in der Fluiddynamik eine zentrale Rolle. Es ging – gerade in einem ingenieurtechnischen Bereich wie dem der Fluiddynamik – stets auch um technische wie industrielle Anwendbarkeit und durchaus um ein, wenn auch

9 Vgl. *A Gallery of Fluid Motion*, <https://gfm.aps.org/about>, zuletzt besucht am 24. 4. 2024. 2011 lautete die Formulierung noch: »entries were selected based upon criteria of scientific merit, originality, and artistry/aesthetic appeal«, vgl. https://web.archive.org/web/20120306022444/http://pof.aip.org/gallery_of_fluid_motion, zuletzt besucht am 24. 4. 2024.

10 Daston, Galison, *Objektivität* (2007), S. 408.

11 Ebd., S. 408, S. 438.

12 Milton van Dyke, *An Album of Fluid Motion*, Stanford: The Parabolic Press 1982, Cover und S. 140.

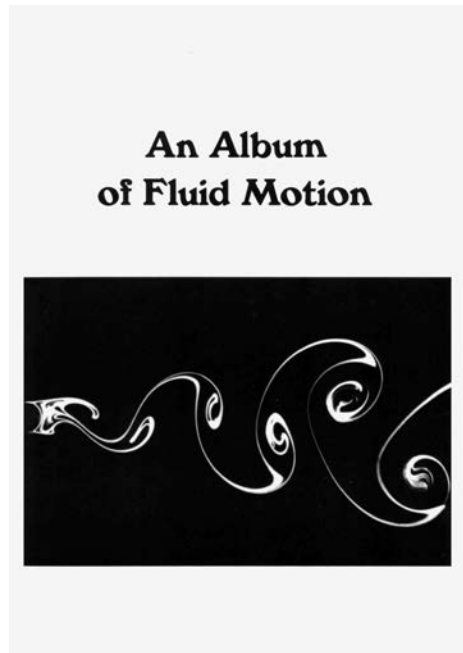
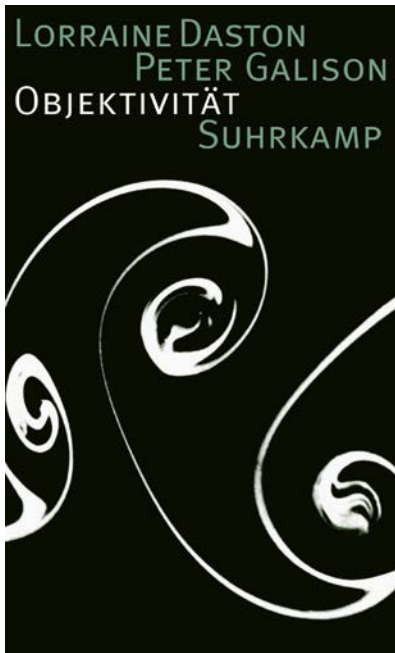


Abb. 8.5 und 8.6: Das Coverbild der deutschen Ausgabe von *Objectivity* zeigt eine Kármán'sche Wirbelstraße, die sich auch auf dem Cover von van Dykes *An Album of Fluid Motion* findet. Daston und Galison argumentieren, dass van Dykes Album Vorbild und Vorläufer der Bildergalerien war.

implizites Begehren nach schönen und überzeugenden Bildern der Strömung. So hatte Prandtl seinen Film nicht nur ausgiebig vorgeführt, sondern bei seinen Vorträgen auf Applaus gesetzt. Der Unterschied scheint vielmehr darin zu liegen, dass die ästhetische Qualität der Filme, die damals implizit blieb, nun in den von Daston und Galison beschriebenen Bildergalerien und Wettbewerben zu einer expliziten Kategorie wird, ja zur »selbstbewusste[n] Ästhetisierung«.¹³ Und, so ließe sich zu Daston und Galisons Analyse hinzufügen, dass Ästhetik und bildliche Wirkmacht verstärkt zu einem Argument im wissenschaftlichen Konkurrenzkampf wurden, der sich etwa zeitgleich mit dem Aufkommen der Bilderwettbewerbe massiv zu intensivieren begann.¹⁴

¹³ Daston, Galison, *Objektivität* (2007), S. 429.

¹⁴ Zum Konkurrenzprinzip vgl. Margit Szöllösi-Janze, »Archäologie des Wettbewerbs: Konkurrenz in und zwischen Universitäten in (West-)Deutschland seit den 1980er Jahren«, in: *Vierteiljahrshefte für Zeitgeschichte* 69/2 (2021), S. 241–276, <https://doi.org/10.1515/vfzg-2021-0015>.

Eine solche Art von Wettbewerben ist mittlerweile über den Bereich der Fluidodynamik hinaus weit verbreitet. Im großen Maßstab gibt es sie etwa vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF), der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Royal Society oder von *Nature* und vielen anderen machtvollen Institutionen im Wissenschaftsbetrieb. Ihre Mission scheint vergleichbar: Sie wollen Ästhetik und Wissenschaft auf neue Weise verbinden und nebenbei oft auch einen Bilderstock für ihre (Öffentlichkeits-)Kommunikation aufbauen. Denn die teilnehmenden Wissenschaftler*innen übertragen die Nutzungsrechte an ihren Bildern (wie im Falle von *Nature*) oder müssen der Publikation von diesen unter einer Creative-Commons-Lizenz zustimmen (wie im Falle des SNF).¹⁵

Daston und Galison bringen als Gründe für den zunehmenden Präsentationscharakter wissenschaftlicher Bilder die neuen Möglichkeiten der Computersimulation ins Spiel. Als zentrales Beispiel ziehen sie die Farbenskalen in den numerischen Strömungssimulationen der CNRS-Wissenschaftlerin Marie Farge heran. Farge warnte 1988 davor, dass die grafischen Computermethoden Wissenschaftler*innen zu einer »verlockenden ästhetischen Gestaltung« verführen würden, weswegen sie sich für einen standardisierten Einsatz von Farbe in der Tradition der Farbenlehre von Johannes Itten einsetzte. Farbe, so Daston und Galison, wurde in computersimulierten oder -bearbeiteten Bildern zum »Werkzeug«, ja zum »Konstrukt«. Eines von Farges Bildern wurde in die Bildergalerie aufgenommen und gewann den von *The Physics of Fluids* ausgeschriebenen Preis.¹⁶

Auch unser im Vergleich eher randständiges und weniger eindeutiges Beispiel, die PIV-Analyse, führt uns auf die Fährte der Computerisierung. Mehr noch aber führt es uns, da es sich um wiederverwendetes und neu ausgewertetes Filmmaterial handelt, weg vom wissenschaftlichen Labor und hin zu den komplexen (von Daston und Galison weitgehend ausgesparten) medientechnischen, institutionellen, ökonomischen und narrativen Bedingungen der Distribution wissenschaftlicher Bilder in digitalen Zeiten.

15 Vgl. Anonym, »Nature Careers: Working Scientist Competition, Terms and Conditions«, <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-024-00688-3/26828438>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025; »SNF-Wettbewerb für wissenschaftliche Bilder«, <https://www.snf.ch/de/xcdCNJikRZXwYWC5/seite/wissenschaftskommunikation/bilder-wettbewerb>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.

16 Daston, Galison, *Objektivität* (2007), S. 430–434.

Voraussetzung für die computergestützte Auswertung und datenbasierte Einfärbung der analogen Strömungsaufnahmen war zunächst das Vorliegen einer digitalen Version. Kompenhans hatte die MPEG2-kodierten Digitalisate von Prandtls Filmmaterial von einer DVD-Sonderedition mit dem Titel *Ludwig Prandtl – Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen*, die das IWF 2009 in Kooperation mit dem *Göttinger Tageblatt* herausgegeben hatte. Auf ihr zu finden sind die Filme C 1 und C 2 in den IWF-Schnittversionen, also jenen 1936 veröffentlichten Versionen mit dem IWF-Vorspann aus den 1950er Jahren. Als die DVD mit C 1 und C 2 herauskam, befand sich das IWF, das zu dieser Zeit unter dem neuen Namen IWF Wissen & Medien GmbH firmierte, jedoch bereits in Abwicklung. Es konnte dem inhaltlichen, medientechnischen und finanziellen Reformdruck, dem es ausgesetzt war, nicht länger standhalten. Die lange Geschichte der Abwicklung des IWF ist exemplarisch für den Wandel der Publikationsweisen wissenschaftlicher Filme seit den 1990er Jahren.

Zeit seines Bestehens war das IWF teilweise harscher inhaltlicher Kritik ausgesetzt.¹⁷ 1964 setzte Hermann Bausinger, einflussreicher Reformator der deutschen Volkskunde, die Filme des IWF schlicht mit Langeweile gleich.¹⁸ Die inhaltliche Kritik aus den Reihen der Volkskunde und visuellen Anthropologie spitzte sich insbesondere im Laufe der 1980er Jahre zu, auch weil Gotthard Wolfs Ausscheiden als Direktor zunächst nicht die vom Fach erhoffte Neuausrichtung brachte. Die Identifikation von Wolf mit dem IWF blieb »nahezu total«.¹⁹ Im Zentrum der Kritik stand das enzyklopädische Großprojekt des IWF, die *Encyclopaedia Cinematographica*, die von Zeitgenossen als »reduktionistisch« (Werner Petermann), »rigide« (Edmund Ballhaus), oder »naiv« und ideologisch verhärtet (Michael Böhl) beschrieben wurde.²⁰

Aber nicht nur inhaltlich geriet das IWF seit den 1980er Jahren zunehmend unter Druck. Das Arbeitsmodell, ein Zentrum für die Distribution

¹⁷ Torsten Näser, »Das Filmarchiv (von IWF und EC). Eine macht-analytische Nachlese«, in: Irene Ziehe, Ulrich Hägele (Hg.), *Fotografie und Film im Archiv Sammeln, Bewahren, Erforschen*, Münster: Waxmann 2013, S. 115–128; Pierrine Saini, Thomas Schärer, *Das Wissen der Hände: Die Filme der Schweizerischen Gesellschaft für Volkskunde, 1960–1990*, Münster: Waxmann 2019.

¹⁸ Hermann Bausinger in: »Unveröffentlichtes Protokoll der Tagung des Arbeitskreises für Fastnachtforschung am 20. und 21. November 1961 in Donaueschingen«, zitiert nach Näser, »Das Filmarchiv« (2013), S. 115.

¹⁹ Werner Große, *Filme für die Wissenschaft. Die Epoche des wissenschaftlichen Films in Göttingen*, Göttingen: Verlag Göttinger Tageblatt 2012, S. 59.

²⁰ Vgl. Näser, »Das Filmarchiv« (2013), S. 116.

und Produktion wissenschaftlicher Filme zu sein, wurde auch durch die Veränderung der Produktionsbedingungen von Bewegtbildern im naturwissenschaftlichen Labor in Frage gestellt. Neue Kameratechnologien machten es möglich und notwendig, die Expertise für die filmische Arbeit direkt im Labor aufzubauen. David Shotton, Zellbiologe an der University of Oxford und Leiter des BioImage Database Project, zählt in einem Bericht zu den Digitalisierungsprojekten des IWF von 2002 einige neuere Technologien auf, etwa »light microscopy«, »GFP [green fluorescent protein] and confocal laser scanning microscopy«, und schlussfolgert: »the sophisticated imaging equipment is now all in the scientists' lab«.²¹ Das spezialisierte Lab wurde zu einem medial spezialisierten Lab. Die Demokratisierung von Filmequipment durch die Digitalisierung veränderte die Visualisierungsarbeit und die Produktion von Forschungsfilmen, die zuvor in Zusammenarbeit mit Wissenschaftler:innen mitunter in-house im IWF produziert wurden.

Als das IWF nach 1990 zudem seinen Aktionsradius in die ostdeutschen Bundesländer erweitern sollte, zugleich aber seitens der klammen niedersächsischen Landesregierung unter finanziellen Druck geriet, wurden die Probleme existenzieller. Wie die Universitäten geriet es in einen sich verschärfenden Verteilungskampf um knappe finanzielle und personelle Ressourcen, den die Politik mithilfe der Entfesselung eines beständigen inner- und interuniversitären Wettbewerbs zu lösen suchte.²² Das IWF erhielt Mitte der 1990er Jahre eine vernichtende Evaluation durch den Wissenschaftsrat, also jener Institution, die als zentraler Akteur einer politisch forcierten sowie ökonomisch inspirierten Wettbewerbsorientierung durch stetige Evaluation gelten muss.²³

Das IWF reagierte auf den Reformdruck mit dem Vorhaben, zum »Medien-Dienstleister« zu werden und damit zu einer »Agentur«, die Filmmaterial mitunter mehr oder minder direkt aus den Laboratorien akquiriert und für die Nutzung in Lehre und Forschung aufbereitet.²⁴ 2001 erfolgte die Umbenennung zu Wissen und Medien, die die klar marktwirtschaftlich inspirierte Verbetrieblichung des IWF verbürgte. Außerdem ist im neuen Titel die erwünschte Profilierung in den als zukunftssträftig empfundenen

21 David Shotton zitiert nach Holger Breithaupt, »Movies for teaching science. The first public database of scientific films and images for educational use went online this year«, in: *EMBO reports* 3/10 (2002), S. 918–920, hier S. 920, <https://doi.org/10.1093/embo-reports/kvf207>.

22 Vgl. neben Szöllösi-Janze, »Archäologie des Wettbewerbs« (2021), auch Uwe Schimank, Ute Volkmann, *Das Regime der Konkurrenz: gesellschaftliche Ökonomisierungsdynamiken heute*, Weinheim: Beltz Juventa 2017.

23 Mehr zur Evaluation vgl. Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 86–87; mehr zum Wissenschaftsrat vgl. Szöllösi-Janze, »Archäologie des Wettbewerbs« (2021), S. 248, S. 253.

24 Vgl. Breithaupt, »Movies for teaching science« (2002), S. 920.

Bereichen der Medien- und Informationstechnik sowie der Wissensökonomie angedeutet. Bei der Reform wurde auf die zunehmende Implementierung des Computers als Verbreitungsmedium gesetzt. Obwohl das IWF damit sein eigenes Ende nicht verhindern, sondern nur hinauszögern konnte, sind die Digitalisierungsstrategien der 1990er und 2000er Jahren insofern bemerkenswert, als dass sie gegenwärtig diskutierte Publikationsweisen wissenschaftlicher Bewegtbilder vorbereiteten.

Wissenschaftliches »online-Kino«: IWFdigiclip

Der ehemalige IWF-Mitarbeiter Werner Große hat in seiner Institutsge-
schichte hervorgehoben, dass der mediale Umbruch vom Analogen ins Digi-
tale das IWF nicht erst seit den 1990er Jahren beschäftigte. Ende der 1970er
und Anfang der 1980er Jahre hielten mit der Gründung von Medienzentren
neue elektronische Bewegtbildtechnologien an Hochschulen und Universitä-
ten Einzug.²⁵ Das IWF bemühte sich, mit den technologischen Entwicklungen
mitzuhalten, begonnen mit der Einführung von »Bildplatten« (Laserdiscs),
die dann von Digital Betacam und CD-ROM abgelöst wurden. Auch die
Erschließung neuer Fachbereiche an der Schnittstelle von Bewegtbild und
Datenverarbeitung, wie etwa das Fachreferat Mathematik/Computer-Ani-
mation, wurde vorangetrieben. Die Reihe lässt sich bis zu den interaktiven
Multimediaprojekten auf DVD fortsetzen, zu denen die DVD mit Prandtls
Filmen gehörte.²⁶

Herzstück der Digitalisierungsstrategien am IWF war das seit 2000 über
das Bundesministerium für Bildung und Forschung mit fünf Millionen DM
finanzierte Projekt IWFdigiclip.²⁷ Digiclip sollte der Rettungsschirm werden,
der dem IWF eine (digitale) Zukunft sichert. Schließlich waren »sichtbare und
finanzstarke Drittmittelprojekte« in den 1990er Jahren zu einem wichtigen
Leistungsausweis im Wettbewerb der Forschungseinrichtungen geworden.²⁸
Ziel der Anschubfinanzierung war es, 8000 Minuten wissenschaftlicher Filme

25 Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 57; vgl. auch das Unternehmensportrait auf der damaligen Webseite des IWF, Internet Archive, <https://web.archive.org/web/20051225040058/http://www.iwf.de/Navigation/Unternehmen/index.jsp>, zuletzt aufgerufen am 1. 3. 2024.

26 Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 62, S. 74–75.

27 Für dies und folgendes vgl. Michaela Gräfin von Bullion, »Pressemitteilung. Clipdatenbank im Internet – Ein fünf-Millionen-Projekt für das IWF«, 27. 7. 2000, TIB; vgl. auch Mailkorrespon-
denz der Autor-innen mit Paul Feindt, ehemaliger IWF-Mitarbeiter und Archivar an der TIB,
März 2024.

28 Szöllösi-Janze, »Archäologie des Wettbewerbs« (2021), S. 256.

respektive 1000 Filme des IWF zu digitalisieren und für Nutzer:innen aus Forschung und Lehre online und offline verfügbar zu machen. Hierzu wurde eine Auswahl von Filmen in SD-Qualität (*standard definition*) abgetastet und digitalisiert, gekürzt und in zwei Qualitätsstufen ins Internet gestellt. Die Metadaten konnten nach Schlagworten durchsucht werden. Neben der Sicherung auf Digibeta wurden auch Derivate für das Medienmanagementsystem in den damals gängigen Formaten .mpg, .wmv, .rm, sowie MPEG2-Fassungen für die DVD-Produktion erzeugt.²⁹

In dem Bericht zur ersten Digitalisierung von C 1 ab »35mm Intermediate Negativ Film SW« auf Digital Betacam sind »[a]lterbedingte Mängel wie: Hacker, Flecken, starker Schmutz, unruhiger Bildstand, Helligkeitsflackern« verzeichnet. »Diese Bildfehler«, so heißt es weiter, »konnten durch szenenweise Dichtekorrektur, programmierten Einsatz von Noisereducern und Retusche gemildert werden.«³⁰ Die Filmrestauratorin Miriam Reiche berichtet 20 Jahre später, dass dieser erste Digitalisierungsprozess um 2000 nicht besonders gut dokumentiert wurde und letztlich zu wenig über die eingesetzten Scanner und Scanparameter bekannt sei. Da die Filme damals zudem im »Kino-Modus« abgetastet wurden, sind die Filmbilder dieser ersten Digitalisierungswelle beschnitten worden.³¹ In der Einschätzung Reiches wird deutlich, dass sich die Anforderungen an die Digitalisierungsdokumentation und an digitale Objekte seither stark verändert haben.

Auf der Webseite wurde IWFdigiclip als »Online-Kino mit redaktionell aufbereiteten Filmausschnitten« beworben.³² Die Leibnizgemeinschaft verspricht: »Jedem seine eigene Wissenschafts-Show«.³³ Der Aufwand war enorm – es wurden 15 neue Mitarbeiter:innen eingestellt, die mit zwölf Referent:innen und zwei juristischen Hilfskräften zusammenarbeiteten –,

²⁹ Vgl. Mailkorrespondenz der Autor:innen mit Feindt, März 2024.

³⁰ Vgl. »MAZ-Karte C 1 – Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen – 1. Entstehung von Wirbeln und künstliche Beeinflussung der Wirbelbildung«, 14. 12. 2000, TIB, Beiblatt zur Digital Betacam Version 730 von C 1. Diese Version ist eine, die wir aufgrund der Bestimmungen des Bundesarchivs bisher nicht sichten konnten.

³¹ Miriam Reiche zitiert nach Anja Sattelmacher, »Ein Digitalisat ist niemals Ersatz für das analoge Filmobjekt«, in: *Montage AV* 29/1 (2020), S. 141–156, hier S. 143, <https://doi.org/10.25969/mediarep/21693>.

³² IWF Wissen und Medien, »Wissenschaftliche Videoclips online«, Internet Archive, <https://web.archive.org/web/20030804075439/http://iwfdigiclip.iwf.de/iwf/start.jsp>, zuletzt besucht am 24. 4. 2024.

³³ Anonym, »Jedem seine eigene Wissenschafts-Show – Clipdatenbank im Internet macht es möglich«, Wissenschaftsgemeinschaft Georg Leibniz (WGL), Pressemitteilung vom 22. August 2000, Internet Archive, https://web.archive.org/web/20010722025945fw_/http://www.iwf.de/iwfgger/4projekt/44/digiclip_d.html#wgl, zuletzt besucht am 24. 4. 2024.

aber auch die mit dem Projekt verbundenen Hoffnungen waren groß: »Damit dürfte das IWF einer der weltweit größten Anbieter wissenschaftlicher Video-Clips im Internet sein.«³⁴ Tatsächlich wurde digiclip fünf Jahre vor YouTube und damit in einer Zeit lanciert, als Video-on-Demand-Dienste noch ganz am Anfang standen.

Obwohl digiclip für die Transformation des Instituts zum Mediendienstleister für die Online-Distribution wissenschaftlicher Filme steht, war damit zugleich eine Rückbesinnung auf die *Encyclopaedia Cinematographica* – das Kernprojekt des IWF – verbunden. Laut Große sei die »Struktur« der EC für digiclip »hervorragend geeignet« gewesen.³⁵ Die Unterteilung der EC entsprechend Tierart, Material oder »Volksgruppe« und Bewegungsart sowie die Zerlegung der Filme in sogenannte »kleinste thematische Einheiten« entsprach der Online-Logik, kurze, stichwortbezogene digitalisierte Filmeinheiten zur Verfügung zu stellen. Auch längere Forschungs- und Unterrichtsfilme sollten im digiclip-Projekt in »thematisch sinnvolle Clips« zerlegt werden. Sie wurden damit – bewusst oder unbewusst – formal und stilistisch an die (zumindest in der Anfangszeit) schnipselhaften EC-Filme angepasst. Zugespielt ließe sich behaupten, dass mit der Digitalisierung und mit digiclip zentrale Aspekte des EC-Konzepts in der Weise realisiert wurden, in der ihr Gründer Gotthard Wolf es angedacht hatte. Die Digitalisierungsinitiative erinnert in ihrem Anspruch an den Universalismus der EC. Das IWF wollte »the first stop for people searching for scientific films« werden: »Our aim is to include everything in our database«.³⁶ Digiclip stellte gewissermaßen einen Schritt in Richtung dessen dar, was W. J. T. Mitchell 2020 der Gegenwart diagnostiziert hat: »iconomania« oder »atlas fever«. Dieses Fieber zeige sich in der Obsession für visuelle Datenbanken, die vorgeben, Wissen möglichst vollständig zu erfassen, anzuordnen und zugänglich zu machen.³⁷

Ein an digiclip anschließendes Projekt war IWFcontentport, das die Neuaquise von wissenschaftlichen Medien zum Ziel hatte und ab 2002 über die Domain vom IWF erreichbar war.³⁸ In dem wissenschaftlichen Fachjournal *EMBO reports* wurde es als das größte öffentlich zugängliche Videoarchiv für

34 Von Bullion, »Pressemitteilung« (2000), o. S.

35 Mehr dazu vgl. Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 92.

36 Projektkoordinator Michael Hanisch zitiert nach Breithaupt, »Movies for teaching science« (2002), S. 920.

37 W. J. T. Mitchell, »Methods, Madness, and Montage«, in: Emanuel Alloa, Chiara Cappelletto (Hg.), *Dynamics of the Image. Moving Images in a Global World*, Berlin, Boston: De Gruyter 2020, S. 102–122, hier S. 110, S. 104.

38 Große, *Filme für die Wissenschaft* (2012), S. 86; Salima Coy, »IWFcontentport« – Wissensmedien per Mausklick«, in: *Jahresbericht IWF Wissen und Medien* (2001), S. 6–7.

wissenschaftliche Filme beschrieben.³⁹ Die Filme konnten über Bezahlung pro Stück (»pay-per-view«) oder im Abonnement angeschaut, sowie heruntergeladen oder als Hardcopy bestellt werden. Die Rechte wurden von eigens dafür eingestellten Jurist:innen geklärt.⁴⁰ Digiclip und contentport waren, aus der institutionellen Logik des IWF heraus gesehen, weitere Schritte auf dem Weg zur Etablierung von Bewegtbildern als wissenschaftliche Publikationsmedien, insofern erstens der Zugriff auf die historischen Filme erleichtert wurde, und zweites neues und aktuelles Videomaterial in contentport aufgenommen und vertrieben werden konnte. Zwar galten bereits die analogen IWF-Filme als veröffentlicht und entsprechend als grundsätzlich zitierbar, allerdings erschwerten die Medienspezifika von 16mm-Filmen sowohl Zugang als auch Zitation. Ein Film kann nicht gleich einem Buch oder einer Akte durchgeblättert werden, sondern benötigt eine formatspezifische Vorführanlage sowie die entsprechenden Kenntnisse bei der Handhabung des Materials. Die Online-Verfügbarmachung erleichterte die individuelle Handhabung der Filme und die Ergänzung von Metadaten steigerte ihre Auffindbarkeit erheblich. Ferner wurden die Filme mit Timecodes versehen und konnten entsprechend vergleichbar mit Seitenangaben eines Textes zitiert werden.

DOI: digitale Persistenz vs. digitale Präsenz

Mit der Schließung des IWF 2010 verschwanden die streambaren Versionen der Filme zusammen mit der entsprechenden Web-Präsenz wieder aus dem Internet.⁴¹ C 1 und C 2 fanden erst 2017 wieder ihren Weg hinein (wenn wir einige Schnipsel daraus auf YouTube nicht mitzählen). Einer der Gründe für das Verschwinden liegt in der zeitlichen Begrenzung (insbesondere früher) Digitalisierungsprojekte. Da es an einer längerfristig gesicherten Auffindbarkeit und Konstanz fehlte, reichten solche Projekte nicht aus, um audiovisuelle digitale Objekte in den Status von dauerhaft zitierfähigen Publikationen zu erheben. Ein anderer Grund für das Verschwinden der Filme aus dem Internet war die zu diesem Zeitpunkt ungeklärte Zukunft der Sammlung respektive die Abwicklung des IWF. Beide Gründe, das digitale Vergessen und die Heimatlosigkeit der analogen Sammlung, sind eng miteinander verknüpft. Die Technische Informationsbibliothek Hannover, kurz TIB, die Deutsche

39 Vgl. Breithaupt, »Movies for teaching science« (2002), S. 919.

40 Coy, »IWFcontentport« (2001), S. 6–7.

41 Vgl. Internet Archive sowie die Mailkorrespondenz der Autor:innen mit Feindt, März 2024.

Zentrale Fachbibliothek für Technik und Naturwissenschaften wollte beide Probleme lösen: Bereits ab 2004 entwickelte sie einen globalen Standard für die langfristige Auffindbarkeit nicht-textueller wissenschaftlicher Daten, und acht Jahre später übernahm sie den Medienbestand des IWF.

2005 empfahl der Senat der Leibniz-Gemeinschaft die seit 1977 bestehende Förderung des IWF zu beenden und die erhaltenswerten Materialien in eine überregionale Bibliothek respektive in ein Fachinformationszentrum zu integrieren.⁴² 2008 beantragte das Land Niedersachsen eine Sonderevaluierung, im Zuge derer vorgeschlagen wurde, den Bestand des IWF in die TIB zu überführen, wo ein Kompetenzzentrum für nicht-textuelle Materialien, geschaffen werden soll. Die Langzeitarchivierung des analogen Filmmaterials sollte das Bundesarchiv übernehmen.

Medientechnischer Angelpunkt des neuen Kompetenzzentrums an der TIB waren die Digital Object Identifiers, kurz DOI, über die nicht-textuelle Objekte wie Forschungsprimärdaten oder eben auch Filme dauerhaft und ortsunabhängig identifizierbar sowie zugänglich gemacht wurden. Was nicht-digitalen Objekten aufgrund ihrer physischen Präsenz respektive Materialität schlicht zukommt, muss bei digitalisierten und bei *digital born* Objekten erst geschaffen werden: eine Verortung. Das Schlagwort aus der Informatik lautet Persistenz. Garantiert wurde diese durch die Einführung von DOIs, der mittlerweile am weitesten verbreiteten Form der sogenannten *persistent identifiers* (worunter zum Beispiel auch URN, ARK oder XRI fallen).⁴³ Wohlgemerkt handelt es sich bei DOIs nicht um die digitalen Objekte selbst, sondern um Identifikatoren für diese. Digitale Persistenz war vorerst nicht mit digitaler Präsenz im Sinne einer Verfügbarkeit der Filme (als abspielbare Filme) gleichzusetzen.

Der Koordinator der DOI-Registrierungsstelle an der TIB Jan Brase erzählt die Geschichte der TIB und der DOIs in Superlativen: Aus dem Projekt heraus sei »die TIB seit Mai 2005 [als] weltweit erste DOI-Registrierungsagentur für wissenschaftliche Daten« hervorgegangen.⁴⁴ Die Vision des Kompetenzzentrums bestand darin, dass nicht-textuelle Objekte »in Zukunft nicht mehr

42 Vgl. Senatsausschuss Evaluierung, Leibniz Gemeinschaft, »Stellungnahme zum Konzept für die Erweiterung der Technischen Informationsbibliothek (TIB) Hannover um ein Kompetenzzentrum nicht-textuelle Materialien (KNM)«, 7. 6. 2010, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek, S. 1–3, hier S. 2.

43 Juha Hakala, *Persistent Identifiers: An Overview* (2010), S. 2, <http://www.persid.org/downloads/PI-intro-2010-09-22.pdf>, zuletzt besucht am 7. 3. 2024.

44 Jan Brase, »Der Digital Objekt Identifier (DOI)«, in: Heike Neuroth et al. (Hg.), *nestor Handbuch: Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung* (Version 2.3), Boizenburg: Verlag Werner Hülsbusch 2009, Kap. 9:57–9:64.

nur Teil einer wissenschaftlichen Veröffentlichung« sein werden, sondern »eine eigenständige Identität besitzen« und entsprechend »schnell auffindbar und zitierbar« sein sollen.⁴⁵ In anderen Worten: »Books are identified by ISBNs, cars by license plates, and digital objects by DOIs.«⁴⁶ »[N]icht-textuelle Wissensobjekte« sollten durch DOIs zur »wissenschaftliche[n] Reputation« gleich den klassischen Publikationen beitragen.⁴⁷

Auch Prandtls Filme erhielten DOIs. Sie lauten: doi.10.3203/IWF/C-1 und doi.10.3203/IWF/C-2. Ein DOI setzt sich aus einem Präfix und einem Suffix, getrennt durch einen Schrägstrich zusammen. Das Präfix besteht aus einem *directory indicator* gefolgt von einem *registrant code*. Im Falle von Prandtls Filmen lässt sich das Präfix 10.3203 wie folgt entschlüsseln: 10 steht für DOI, 3203 ist der *registrant code*.⁴⁸ Das Präfix 10.3203 wurde auf doi.org als »TIB prefix« gemeldet, und zwar am 18. 4. 2007. Das DOI-Suffix kann von beliebiger Länge sein und wird bei der Registrierung gewählt.⁴⁹ Das Suffix IWF/C-1 ist auch ohne Informatikkenntnisse zu entziffern: IWF steht für IWF und C-1 für den Film C 1, der also auch im Digitalen seine 1936 vergebene Signatur behalten sollte. Bei den DOIs, die für die IWF-Filme erstellt wurden, wurde die Katalogisierung aus dem IWF respektive aus deren Vorgängerinstitution übernommen, was eine gängige Praxis bei der Übernahme von Sammlungen durch andere Archive darstellt. Die Suffixe der DOIs sind erweiterbar, so dass Timecodes in sie eingeschrieben werden können, was deren Zitierbarkeit unterstreicht.

DOIs umfassen umfangreiche Metadaten und können daher – unter Vorbehalt – als Quelle für die Geschichte digitaler Objekte dienen. Ähnlich wie wir bisher den Filmaufnahmen in ihren wechselnden Zuständen und Formaten gefolgt sind, können wir auch ihrer digitalen Identität, dem DOI, folgen. Die Metadaten der DOIs sind über die Registrierungsagentur DataCite abrufbar. Die TIB war sowohl Gründungsmitglied der Agentur als auch Ort der Geschäftsstelle. Über DataCite lassen sich zu den DOIs von C 1 und

45 Senat der Leibniz Gemeinschaft, *Stellungnahme zum Konzept für die Erweiterung der Technischen Informationsbibliothek (TIB) Hannover um ein Kompetenzzentrum nicht-textuelle Materialien (KNM)*, 7. 7. 2010, IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek, S. A-5.

46 Cliff Morgan, »The DOI (Digital Object Identifier)«, <https://www.uksg.org/serials/doi#5>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

47 »Damit soll für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit geschaffen werden, wissenschaftliche Reputation nicht nur durch die »klassische« Publikation (Aufsätze, Bücher) zu gewinnen, sondern auch durch die Erschaffung von weiter verwertbaren nicht-textuellen Wissensobjekten.« (Senat der Leibniz Gemeinschaft, »Stellungnahme« (2010), S. A-4.)

48 Vgl. DOI Foundation, *The DOI Handbook*, ohne Ort: DOI Foundation 2023, S. 42, https://www.doi.org/doi-handbook/DOI_Handbook_Final.pdf, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

49 Vgl. DOI Foundation, *The DOI Handbook* (2023).

C 2 folgende Metadaten abrufen: die DOIs wurden am 19. 6. 2007 registriert und am 23. 9. 2020 zuletzt geändert.⁵⁰ Recherchestichproben auf DataCite ergeben, dass eine große Anzahl der E- und C-Filme an exakt demselben Tag einen DOI erhielten. In anderen Worten: Die Strömungsfilme – und mit ihnen viele weitere IWF-Filme – wurden ganze fünf Jahre bevor die TIB den Bestand offiziell und materiell übernehmen und zur Rechtsnachfolgerin des IWF werden sollte, durch die TIB registriert. Vor der Klärung der Besitzverhältnisse der analogen Sammlung, hatte also die TIB digitale Persistenzen von dieser erzeugt und sich die Sammlung auf diese Weise in einem ersten Schritt einverleibt.

Darüber, welche Ratio hinter dieser digitalen Inbesitznahme stand, lässt sich nur spekulieren. Sicherlich war bereits in der Anfangsphase der DOI-Vergabe die reine Quantität von registrierten DOIs wichtig, um sich als Registrierungsagentur zu profilieren.⁵¹ Die IWF-Filme erfüllten ihren Zweck, weil sie eine erstaunliche Masse an nicht-textuellen Materialien darstellten. Gleichzeitig lassen die DOI-Metadaten den bitteren Verdacht aufkommen, dass die Übernahme des IWF-Bestands durch die TIB 2007 bereits feststand – ein Jahr bevor die erwähnte Sonderevaluierung überhaupt in Auftrag gegeben, drei Jahre bevor der offizielle Beschluss zur Bestandsübernahme gefasst wurde, und fünf Jahre, bevor der Medienbestand 2012 in die TIB überging. Die klaffende Lücke zwischen physischen und digitalen Objekten bot Raum für Interventionen: Selbst bei ungeklärten Besitzverhältnissen einer Sammlung kann eine Aneignung im Digitalen erfolgen. Insbesondere, wenn diese weder die visuelle Repräsentation des Objekts betrifft (den Bildinhalt, das Sujet oder Abgebildete, das juristisch besser geschützt wäre), noch den Bildträger (ob analog oder digital), sondern die bei digitalen Objekten erst zu kreierende Adresse. Diese Verortung im Digitalen war performativ und wirkte auf das analoge Objekt und dessen Besitzverhältnisse zurück.

Aus dem Bewertungsbericht des Senats der Leibniz-Gemeinschaft zum Kompetenzzentrum für nicht-textuelle Materialien von 2010, der die Abwicklung des IWF besiegelte, geht hervor, dass an der TIB die Voraussetzungen gegeben seien, »im Bereich der Sammlung, Registrierung, Archivierung, Erschließung und optimierten Bereitstellung nicht-textueller

⁵⁰ Vgl. DataCite, <https://api.datacite.org/works/10.3203/IWF/C-1>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

⁵¹ Die Bedeutung der Quantitäten wird zumindest später in einem Bericht des Informationsdienst explizit gemacht: Sandra Niemeyer, »TIB vergibt millionsten Digital Object Identifier Bibliothek ist zweiterfolgreichstes DataCite-Mitglied nach Registrierungszahlen«, in: *Nachrichten Informationsdienst Wissenschaft*, 20. 4. 2015, <https://nachrichten.idw-online.de/2015/04/20/tib-vergibt-millionsten-digital-object-identifier>, zuletzt aufgerufen am 5. 5. 2024.

Materialien auch im internationalen Vergleich eine Vorreiter- und Pionierrolle einzunehmen.« Das Konzept der DOI-Vergabe wurde »als visionär und zukunftsfähig« bewertet. Ebenso wurde die sachgerechte Langzeitarchivierung der »archivwürdigen Filmbestände« am Bundesarchiv als positiv beurteilt. Hingegen als nicht sinnvoll erachtet wurde die Aufrechterhaltung des Standorts Göttingen.⁵² Im November 2012 wurde fast der gesamte analoge und digitale Medienbestand des IWF auf die TIB übertragen.⁵³ Bemerkenswert ist dieser Beschluss insbesondere, da die TIB zum Zeitpunkt des Beschlusses über keinerlei Erfahrung in der Archivierung von Analogfilm verfügte. Dennoch hatte sie einen Bestand von mehreren Tausend 16mm-Filmen, VHS-Kassetten, DVDs, Dias und Schriftmaterial zu übernehmen – denn nur die »archivwürdigen« Originalnegative gingen an das Bundesarchiv.

Es ist wohl Ironie der Geschichte, dass die Strömungsfilme ihre digitale Persistenz im Prozess der Auflösung des IWF erhielten, mit der Auflösung jedoch ihre Präsenz im Internet verloren haben. Wie die Medienwissenschaftlerin Petra Löffler argumentiert hat, entsteht durch die Digitalisierung »ein neuartiges Objekt«, das »der Biografie des materiellen Dings ein neues Kapitel hinzufügt.« Bezüglich ihres Objektstatus würden Ding und Digitalisat zwar zusammengehören, allerdings hätten Digitalisate auch ein »Eigenleben«.⁵⁴ Jedenfalls zeigt sich, dass digitale Prozesse durchaus materielle Konsequenzen haben und dass digitale Objekte sowie deren Persistenzen und deren Metadaten das Ergebnis komplexer Entwicklungen sind, in denen verschiedene ökonomische und institutionelle Politiken zusammenspielen. Anders als die Rede von digitalen Objektbiografien implizieren mag, ist aber nicht von soliden digitalen Objekten auszugehen, die mehr oder weniger erfolgreich zirkulieren, sondern von komplexen Geschichten einzelner Versionen.

52 Senat der Leibniz Gemeinschaft, »Stellungnahme« (2010), S. B-1–B-9.

53 Vgl. Anonym, »Medienbestand der ehemaligen IWF Wissen und Medien gGmbH«, <https://www.tib.eu/de/researchieren-entdecken/sondersammlungen/iwf-medienbestand>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

54 Vgl. Petra Löffler in: Brigitta Kuster, Britta Lange, Dies., »Archive der Zukunft? Ein Gespräch über Sammlungspolitiken, koloniale Archive und die Dekolonisierung des Wissens«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 11/20 (2019), S. 96–111, insb. S. 101–102, <https://doi.org/10.25969/mediarep/3726>.

2011 bis 2014 entwickelte die TIB gemeinsam mit dem Hasso-Plattner-Institut Potsdam das sogenannte AV-Portal, das im Frühjahr 2014 online ging.⁵⁵ Die Kontinuität zum IWFdigiclip, das unter anderem als »Internet-Portal für AV-Medien« beworben wurde, ist unübersehbar.⁵⁶ Das heute noch immer bestehende AV-Portal war ein weiterer Versuch, wissenschaftliche Filme zugänglich und zu zitierfähigen und persistenten Publikationen zu machen. Was bereits im IWF angedacht war, wurde hier realisiert: Nicht nur die historische IWF-Sammlung wurde online gestellt – sofern Urheber- und Persönlichkeitsrechte es zuließen –, sondern Wissenschaftler:innen können mit Vorlesungen, TED-Talks und Forschungsvideos zum Portal beitragen.⁵⁷ Eine regelrechte *videomania*, so liesse sich in Abwandlung von Mitchells *iconomania* formulieren, erfasste die TIB. Die meisten der aktuell über 50000 verfügbaren Videos sind Neuproduktionen, die nach 2010 und bis 2018 erstellt wurden (Abb. 8.7).

Gleich YouTube, Wikipedia und weiteren Netzwerken, die als Web 2.0 bezeichnet wurden, belässt das AV-Portal Wissenschaftler:innen nicht in der Rolle von Konsument:innen der Forschung und Filme anderer, sondern gibt ihnen selbst die Möglichkeit, Inhalte online zu stellen. Die Wissenschaftler:innen sind angehalten, zu sogenannten Prosumer:innen – ein Kofferwort aus *producer* und *consumer* – zu werden. Das Ziel scheint zu sein, eine Art *participatory culture of science* zu etablieren.⁵⁸ Die Arbeit am AV-Portal scheint sich auszubezahlt zu haben: 2020 wurde die TIB unter anderem für ihren Umgang mit audiovisuellen Medien durch den Deutschen Bibliotheksverband e.V. als Bibliothek des Jahres ausgezeichnet. Laut Jury komme ihr eine »Vorreiterrolle in der Gestaltung des digitalen Wandels« und der Open-Science-Transformation zu.⁵⁹

55 Irina Sens et al., »Die TIB: Mehr als eine Bibliothek«, in: *Bibliothek Forschung und Praxis* 44/3 (2020), S. 474–484, <https://doi.org/10.1515/bfp-2020-2040>.

56 Michaela Gräfin von Bullion, »Presseeinladung IWF«, 25. 7. 2000, TIB.

57 In den 2000er Jahren bot das IWF Wissen und Medien bereits an, audiovisuelles Material aus Wissenschaft, Forschung und Lehre nach inhaltlicher Prüfung online zu stellen, vgl. »Ihre Medien online!«, Internet Archive, https://web.archive.org/web/20030804074355/http://www.iwf.de/Navigation/Medien/Ihre_Medien_online/index.jsp, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

58 Das Konzept der *participatory culture* stammt von dem Medienwissenschaftler Henry Jenkins und ist unseres Wissens bisher nicht auf die Wissenschaften übertragen worden, findet sich jedoch im Bereich der *science communication studies*: Jesús Muñoz Morcillo et al., »Producers of Popular Science Web Videos. Between New Professionalism and Old Gender Issues« am: *Public Communication of Science and Technology Conference*, Dunedin (2018), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.05572>.

59 Frank Mentrup zitiert nach <https://www.bibliotheksverband.de/bibliothek-des-jahres#BibliothekdesJahres2020>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

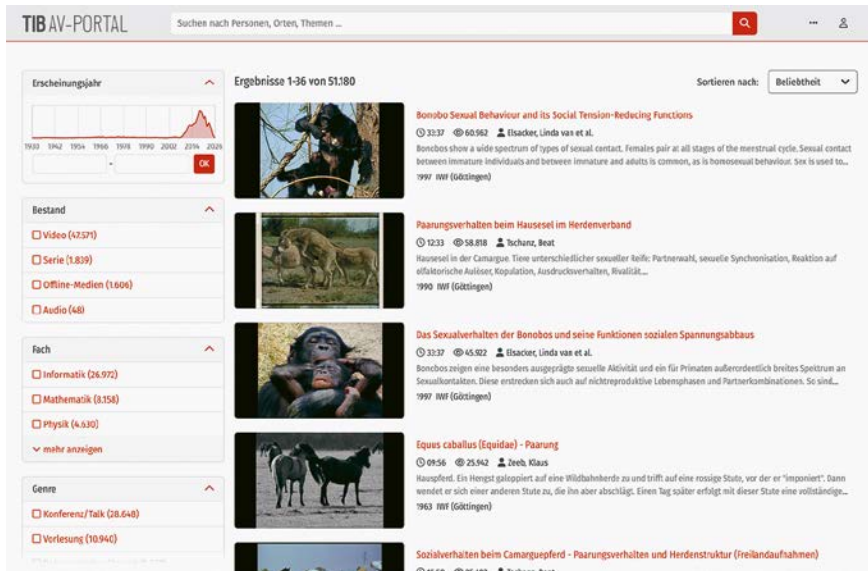


Abb. 8.7: Die beliebtesten der über 50000 Videos auf dem AV-Portal der TIB haben das Sexual- resp. Paarungsverhalten von Tieren zum Inhalt und stammen aus dem IWF.

Einmal mehr in der Geschichte der Strömungsfilme erweisen sie sich als eine wichtige Ressource. Die TIB verlangt Lizenzgebühren für die kommerzielle und nichtkommerzielle Nutzung der Rfdu- und IWF-Filme, konkret zwischen 75 und 1000 Euro pro angefangene Minute – ein Geschäftsmodell, das sie von der Vorgängerinstitution übernommen hatte.⁶⁰ C 1 und C 2 gelangten 2017 nach erfolgter Rechtleklärung wieder ins Internet – diesmal in vollständiger Länge. 2019/20 erfolgte eine hochwertigere Neudigitalisierung (zusammen mit Rfdu-/RWU-Altbeständen) im Anschluss an das vom BMBF geförderte DELFT-Projekt, das die Digitalisierung der ethnologischen Sammlung des IWF zum Inhalt hatte.⁶¹ 2023, 70 Jahre nach dem Tod Prandtls, wurden die Strömungsfilme gemeinfrei.⁶² Aus einer Perspektive

60 Vgl. »Preisliste Lizenzierung«, <https://av.tib.eu/licensing>, zuletzt besucht am 24. 3. 2024, sowie die Preisliste für Lizenzverkauf der IWF Wissen und Medien gGmbH, Göttingen – Stand: 10/2002 –, Internet Archive, <https://web.archive.org/web/20030825173850/http://www.iwf.de/Navigation/Medien/Lizenzen/Lizenzpreisliste.jsp>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

61 Vgl. Mailkorrespondenz mit Feindt, März 2024; vgl. auch Anonym, »DELFT: Digitalisierung EthnoLogischer FilmbesTand«, <https://projects.tib.eu/delft/>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

62 Oskar Tietjens, der erst 1971 verstarb, und W. Müller, dessen Todesdatum uns unbekannt ist, spielten keine Rolle bei der Festlegung der Schutzfrist, obwohl mindestens Tietjens als

der Klickzahlen, einer der zentralen Währungen des Internets, sind die IWF-Tierfilme auf dem AV-Portal mit Abstand am beliebtesten, insbesondere die zum Sexualverhalten von Bonobos, Eseln, Pferden, Zebras und Löwen mit Klicks im 20000er bis 60000er Bereich. Verglichen mit Videos auf YouTube – selbst mit wissenschaftlichen – ist das wenig: C 1 kommt auf dem AV-Portal auf knapp 1400 Klicks, C 2 auf 350.⁶³ Auf YouTube kommen Ausschnitte aus dem Strömungsfilm von minderwertiger Qualität immerhin auf knapp 20000 Aufrufe. 2008 hatte der niederländische User »E. J. Grift« Ausschnitte aus dem Strömungsfilm als »Ludwig Prandtl Historical Flow Visualization Film« von knapp drei Minuten Länge online gestellt. Seither diskutiert die Community über die Drehrichtung der Wirbel.⁶⁴

Wie erfolgreich das AV-Portal in einer Logik von Klickzahlen und/oder Partizipation ist, sei dahingestellt. Zu den politischen Konsequenzen der Publikationsweisen wissenschaftlicher Bewegtbilder zählt auch, dass das Publizieren auf Online-Plattformen andere Öffentlichkeiten erzeugt, als es bei spezialisierten Journals der Fall wäre. Und die Öffentlichkeiten, die die Bewegtbilder erreichen, bestimmen deren Wiederverwendungen und damit deren epistemische wie gesellschaftliche Wirksamkeit. Für die Weiterverwendung der Strömungsaufnahmen als visuelles Paper war nicht die Online-Bereitstellung entscheidend, sondern Offline-Medien.

Das Fortschrittsnarrativ der Digitalisierung

Auf die Idee, die Filmaufnahmen Prandtls mittels PIV zu analysieren, kam Kompenhans als Leser des *Göttinger Tageblatts*. »Alte Filme neu auf DVD« war am 10. Februar 2009 auf der Titelseite zu lesen. Ein halbseitiger Bericht in der Zeitung porträtierte Prandtl, dessen Arbeit mit Film und das IWF in hagiografischer Manier. Im Zeitungsartikel abgedruckt waren die ikonischen Bilder vom umströmten Zylinder und von Prandtl an seinem ersten Wasserkanal sowie ein Bild von der Infosteile, die Göttingen, die »Stadt, die

Miturheber des Films gelten müsste. Allerdings wurde seine Arbeit bereits vor der Aufnahme in die Rf&U durch Prandtl marginalisiert, der Tietjens aus den Credits verschwinden ließ (vgl. drittes Kapitel und Mario Schulze, Sarine Waltenspül, »Ein Film mit vielen Enden«, in: *Nach dem Film* 23 (2024), <https://nachdemfilm.de/issues/text/ein-film-mit-vielen-enden>).

⁶³ C 1 ist dabei jedoch immerhin der siebthäufigst gesehene Film aus den 1930er Jahren auf dem AV-Portal. Auf den ersten beiden Plätzen rangieren Karl von Frischs *Farbsinne der Bienen* und Hubert Schardins *Dum-Dum-Wirkung*, Stand 23. 4. 2025.

⁶⁴ Vgl. *Ludwig Prandtl Historical Flow Visualization Film*, <https://www.youtube.com/watch?v=VcggiVSf5F8>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

Historische Filme von Wirbeln und Strömungen

IWF zeigt Prandtl-Aufnahmen als DVD-Sonderedition / Verkauf in Tagblatt-Geschäftsstelle



„Ludwig Prandtl – Entdeckung von Wirbeln und Strömungen“ findet die IWF eine Göttinger DVD, die die Geschichte der Strömungsmechanik zeigt. Die DVD enthält neben C 1 und C 2 auch einen kurzen Film über die »Anfänge der Strömungsforschung in Göttingen«.



Abb. 8.8 und 8.9: Anlässlich der Veröffentlichung der Strömungsfilme auf DVD erschien ein Zeitungsartikel im *Göttinger Tageblatt*. Die DVD enthält neben C 1 und C 2 auch einen kurzen Film über die »Anfänge der Strömungsforschung in Göttingen«.

Wissen schafft«, einen Monat zuvor zu Ehren Prandtls aufgestellt hatte (Abb. 8.8).⁶⁵ Kompenhans kannte Prandtl und dessen Forschungen bereits vor dem Zeitungsartikel. Schließlich arbeitete er in Göttingen an jenem Ort, an dem Prandtl seine Institute aufgebaut hatte. Auch Prandtls Arbeit mit Bildern war Kompenhans bekannt. Bereits 1998 hatten er und seine Kollegen eine Replica von Prandtls erstem Wasserkanal benutzt, um Strömungsbilder mit Videokameras zu erstellen und mit PIV auszuwerten.⁶⁶ Aber erst der Zeitungsartikel brachte ihn auf die Spur von Prandtls alten Filmaufnahmen. Er bestellte sich gleich mehrere DVDs.

Obwohl die Wiederveröffentlichung der Filme Prandtls auf DVD die Voraussetzung der Daten-produzierenden Reanalyse war, war die DVD selbst kein besonders erfolgreiches Verbreitungsmedium der Strömungsfilme. Weder fand sie nach unseren Recherchen ihren Weg in die Kataloge der Universitätsbibliotheken, noch hat sie sonst Aufmerksamkeit erregt.⁶⁷ Die

⁶⁵ Anonym, »Alte Filme neu auf DVD«, *Göttinger Tageblatt*, 2. 10. 2009, S. 1; Britta Eichner-Ramm, »Historische Filme von Wirbeln und Strömungen«, in: *Göttinger Tageblatt*, 2. 10. 2009, S. 11. Den Stadtmarketing-Slogan verwendet Göttingen seit 2001, vgl. Achim Richter, Leiter Fachdienst Kultur der Stadt Göttingen, Mailkorrespondenz der Autor:innen, 8. 3. 2024.

⁶⁶ Markus Raffel, Christian Willert, Jürgen Kompenhans, *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*, Berlin: Springer 1998.

⁶⁷ Bis dato lassen sich nur die Zitationen in unseren eigenen Publikationen zur Geschichte

DVD blieb eine Marginalie, während andere digitale Versionen von C 1 und C 2 zahlreich wiederverwendet wurden.

Im Medienverbund aus DVD, Zeitungsartikel und Infosteile wird ein Narrativ entworfen, das Willert und Kompenhans mit ihrem Konferenzbeitrag fortschreiben werden. Kondensiert ist dieses im gut anderthalbminütigen »Infofilm« mit dem Titel *Aus der Forschung in den Film* (auch als »Anfänge der Strömungsforschung in Göttingen« betitelt), der im Menü der DVD beiden Strömungsfilmen an die Seite gestellt ist (Abb. 8.9). Bereits der Titel des Infofilms, vor allem aber die visuellen Rhetoriken und die rhetorischen Stilmittel der Erzählung aus dem Off unterstreichen, dass es im Infofilm um mehr als eine Kontextualisierung der filmischen Arbeit Ludwig Prandtls geht. Vielmehr geht es um einen Gesamtentwurf des Wissenschaftsstandorts Göttingen und um ein Bild der Wissenschaft im Allgemeinen.

Der Film beginnt mit der Aufnahme einer wirbelförmigen Wolkenformation, die vom Weltall her fotografiert wurde (Abb. 8.10). Beim darauffolgenden Flug über Göttingen hebt die weibliche Off-Stimme an: »Die Wiege der systematischen Strömungsforschung stand in Göttingen.« Nachdem die erwähnte Infosteile ins Bild gesetzt und vorgestellt wird, erläutert die Off-Stimme weiter, dass die Pionierleistungen auf diesem Gebiet »weltweit mit dem Namen Ludwig Prandtl verknüpft« seien. Prandtl habe »nicht nur die Grundlagen der internationalen Strömungsforschung« geschaffen, sondern »auch den Grundstein für heutige Göttinger Forschungseinrichtungen« gelegt, wie das DLR und das MPI für Dynamik und Selbstorganisation.

Ein solcher Anfang lädt dazu ein, ihn literaturtheoretisch – in der Tradition Hayden Whites – auf die darin zum Ausdruck kommenden Deutungsmuster und geschichtlichen Gesamtentwürfe hin zu analysieren.⁶⁸ Bereits in den ersten Sätzen finden sich Tropen, die semantisch über Bedeutungsverschiebungen funktionieren: zum Beispiel die Metapher der Wiege. Die Entlehnung von Motiven der Schwangerschaft, der Kindheit oder der Häuslichkeit und die Übertragung derselben in den Bereich der Technik und der Wissenschaften ist keine Seltenheit. Caroline Cohn und Evelyn Fox Keller haben gezeigt, wie solche Motive das Sprechen über Atombomben und andere Waffen prägten.⁶⁹

des Films oder in Willerts und Kompenhans' Texten, sowie in einer Pressemitteilung des Informationsdienst Wissenschaft angesichts ihrer Herausgabe auffinden.

68 Vgl. Reinhart Koselleck, »Einführung«, in: Hayden White, *Auch Klio dichtet oder die Fiktion des Faktischen*, Stuttgart: Klett-Cotta 1986, S. 1–6, hier S. 3, S. 5; Hayden White, *Metahistory: The Historical Imagination in Nineteenth-Century Europe*, Baltimore: Johns Hopkins University Press 1973.

69 Carol Cohn, »Sex and Death in the Rational World of Defense Intellectuals«, in: *Signs* 12/4 (1987), S. 687–718; Evelyn Fox Keller, *Secrets of Life, Secrets of Death: Essays on Language, Gender and Science*, New York: Routledge 1992, S. 44.

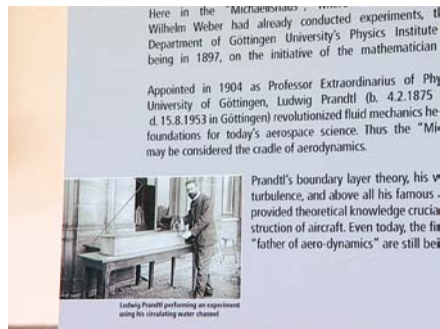


Abb. 8.10: Der Infofilm macht Erinnerungspolitik und erklärt, dass »die Wiege der systematischen Strömungsforschung« in Göttingen stand.

Von »Oppenheimers Baby« sei die Rede gewesen – ein Baby mit Vater, aber ohne Mutter. Gemäß Keller wurde mit der Umkehrung der Geburtsmetapher die mütterliche Fruchtbarkeit durch die Technik vereinnahmt: Die (weibliche) Gebärfähigkeit, die Fähigkeit, Leben hervorzubringen, wurde männlich angeeignet. Allerdings sei dadurch das Geheimnis des Lebens zum Geheimnis des Todes geworden.⁷⁰ Motive aus dem Bereich des Häuslichen dienen häufig als Verharmlosung von todbringenden Objekten. Die Metapher der Wiege (oder die Metapher des »Vaters der Strömungsforschung«, wie Prandtl im Artikel des *Göttinger Tageblatts* bezeichnet wird) steht auch bei der Strömungsforschung für mehr als für die Setzung eines Ursprungs. Geschaffen und gepflegt wird ein Wissen, das ein zerstörerisches Potenzial in sich birgt. Es ist nicht mit der Forschung an der Atombombe gleichzusetzen. Dennoch bleibt es eine Verharmlosung, von der »Wiege der systematischen Strömungsforschung« zu sprechen, ohne gleichzeitig auf die Rolle der Göttinger Strömungsforschung bei der Aufrüstung der Luftwaffe der Wehrmacht hinzuweisen.

Nach dieser knapp einminütigen Einführung folgen erste Aufnahmen aus C 1 und C 2, konkret des Tragflügels und von Strömungen in Rohren. Der Kommentar hebt zunächst die Bedeutung des Mediums Film für die Forschungen Prandtls hervor. Besonders betont wird, dass Prandtl die Strömungen »sichtbar machte« und »filmte«. Die Strömungsaufnahmen leiten in eine problematische Selbsthistorisierung des IWF über. Die Erzählung verkürzt die Institutsgeschichte: nach der Veröffentlichung von Prandtls Filmen durch die RfdU ist vom jungen Referenten Gotthard Wolf die Rede, »der bald darauf die Abteilung Technischer Forschungsfilm leitete und nach dem Krieg in Göttingen das Institut für den Wissenschaftlichen Film gründete.« Auf textlicher und bildlicher Ebene wird Wolfs Arbeit in der Abteilung Technischer Forschungsfilm zur Qualifikation für seine Direktorenstelle am IWF, womit eine Linie von Wolfs Tätigkeit während des Krieges, die – wie wir im fünften Kapitel gezeigt haben – im Bereich der Kriegsforschung lag, ins IWF gezogen wird. Was hier in Bild und Text reproduziert wird, ist letztlich das *whitewashing* der Institutsgeschichte.

Im Infofilm kommt zu den (patriarchalen) Ursprungserzählungen der Strömungslehre und des wissenschaftlichen Films eine dritte Erzählung hinzu: die Geschichte der digitalen Transformation des IWF. Zum Ursprung gesellt sich damit der Fortschritt, zur Wiege der Computer. Dabei vollzieht sich ein medialer Bruch im Film. Nach der Fotografie Wolfs, der auf »sein« IWF blickt, wird mit einer Überblendung ins Bewegtbild gewechselt. Zu

70 Ebd.



Abb. 8.11: Illustriert wird die Geschichte des IWF mit einigen historischen Fotos: Ein RfDU-Gruppenfoto wird durch ein Schwarz-Weiß-Foto des gealterten Gotthard Wolfs überblendet. Dann erscheint hinter ihm ein Farbfoto des IWF-Gebäudes am Nonnenstieg. Quasi aus der Welt der Toten blickt Wolf auf sein Lebenswerk. Es folgt ein Schnitt ins Bewegtbild und auf einem Bildschirm ist C 2 im Windows Media Player vor der Suchmaske zu sehen.

sehen ist eine Aufnahme der Online-Eingabemaske des IWF Wissen und Medien, in die der Suchbegriff »Prandtl« eingetippt wird. Daraufhin erscheinen als Ergebnisse C 1 und C 2. Letzterer wird angeklickt und im Fenster des Windows Media Player erscheint eine Aufnahme des Wasserstroms durch einen Krümmer (Abb. 8.11). Die Off-Stimme berichtet: »Und so kommt es, dass Prandtls alte Filme – inhaltlich aktuell wie eh und je – noch immer zu sehen und zu haben sind.« Erneut – 80 Jahre nach ihrer Vorbildfunktion für den nationalsozialistischen Unterrichtsfilm – stehen C 1 und C 2 Modell für den wissenschaftlichen Film sowie für dessen Online-Verfügbarkeit.

Die DVD, im Verbund mit Stele und Zeitungsartikel, entwirft eine nostalgische, teleologische Fortschrittsgeschichte des IWF von seinen Anfängen bis in die Zeit der digitalen Transformation. Diese Geschichte wird aus den mehreren Tausend Filmen des Bestands ausschließlich anhand von

C 1 und C 2 erzählt. Die Filme, die seit 1936 für eine Fachgemeinschaft ausleihbar waren, dienten neu zur Historisierung und Heroisierung einer Göttinger Wissenschaftstradition, in der Film und Strömungsforschung eine Allianz eingegangen sind. Die digitalen Versionen des Films erscheinen hier als vorläufig letzte Etappe in einer Fortschrittsgeschichte nach bekanntem Muster, in dem eine männliche Hegemonie und Schaffenskraft (Gebärfähigkeit) mittels neuer technologischer Entwicklungen stets neu verbürgt wird.

In Bezug auf die Publikationsbedingungen von wissenschaftlichen Bewegtbildern im Digitalen haben wir bis hierhin anhand der Strömungsfilme an einem Beispiel aufgezeigt, wie Forschungsergebnisse in Bewegtbildform digitalisiert, online veröffentlicht (digiclip), dauerhaft verortet (DOI) und lizenzbeschränkt oder gemeinfrei zugänglich gemacht wurden (AV-Portal). Dabei haben wir zumindest angedeutet – wenn auch keineswegs umfassend behandeln können –, welche politischen und epistemischen Konsequenzen jeder dieser Schritte hatte: welche Institutionen (Städte, Bibliotheken, Forschungseinrichtungen) sich damit profiliert haben, welche Öffentlichkeiten über welche Kanäle (Zeitungen, YouTube) davon profitierten und welche narrativen Rahmungen den Strömungsfilmen dabei gegeben wurden. Angedeutet haben wir in Bezug auf die PIV-Auswertung auch bereits einen Mechanismus der Qualitätssicherung und Validierung solcher visueller Forschungsergebnisse: die Wettbewerbe mit ihren mehr oder minder transparenten respektive nachvollziehbaren Kriterien. Nebst den formatspezifischen und institutionenpolitischen Fragen nach Persistenz, Zugänglichkeit und Validierung sind jedoch ebenso Fragen nach den möglichen Argumentationsweisen visueller Papers zentral. Im Folgenden widmen wir uns daher der textbasierten Argumentation von Willert und Kompenhans in ihren Konferenzpapern und setzen diese ins Verhältnis zur visuellen Argumentation in ihrem Video.

PIV-Analyse: Datenfilm oder wie schreiben Wissenschaftler Geschichte

Zum Verständnis sowohl der visuellen als auch der textlichen Argumentation der PIV-Auswertung der Strömungsfilme braucht es zunächst eine Erläuterung und historische Einordnung der PIV-Methode. In der Geschichte der Strömungsvisualisierung gilt die Entwicklung von PIV als Zäsur. Mit PIV wird die Flow Visualization zu einer anerkannten Teildisziplin mit eigenen Journalen und jährlichen Symposien. Die Entstehung von PIV fällt just in die Zeit, in der auch die Bilderwettbewerbe entstehen. Die Bezeichnung Particle Image Velocimetry taucht erstmals 1984 in der fluidodynamischen Literatur

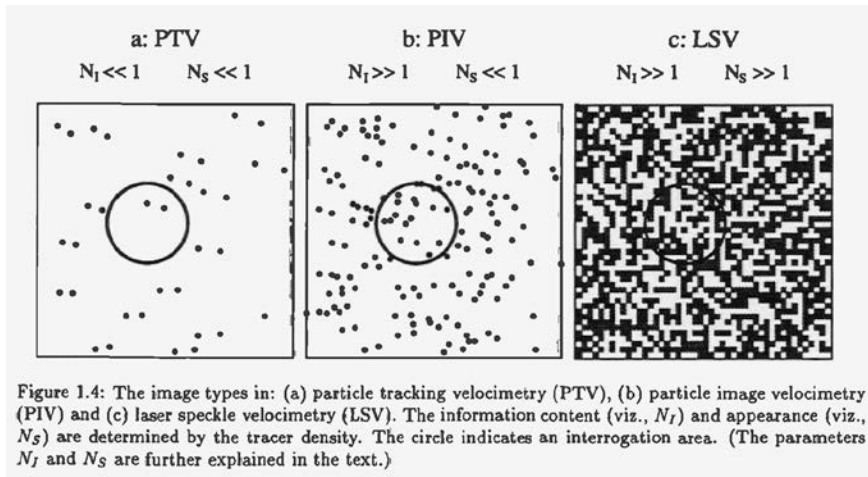


Abb. 8.12: Jerry Westerweel hat die Methoden PTV, PIV und LSV entsprechend den zwei (dimensionslosen) Kenngrößen *source density* (die bestimmt, ob es zu Interferenz kommt) und *image density* (die die Anzahl der im Bild identifizierbaren Partikel angibt) unterschieden.

auf – zumindest Ronald Adrian zufolge, einem der Pioniere der Methode.⁷¹ Dabei ging es zunächst nur darum, eine begriffliche Differenzierung einzuführen. Bereits seit den 1970er Jahren wurden ähnliche Methoden entwickelt, die als Laser Speckle Velocimetry (LSV), bezeichnet wurden. Der Name PIV wurde dann jedoch als der passendere erachtet. Einerseits, weil dafür ein Laser nicht zwingend nötig sei,⁷² andererseits, weil es bei einer geringen Partikelstreuung im Fluid nicht zu sogenannten Specklemustern (körnige Interferenzphänomene) kommen würde.⁷³ Im Laufe der folgenden Jahre einigte sich die Flow Vis-Community auf ein differenziertes begriffliches Raster, das LSV von PIV und PTV (Particle Tracking Velocimetry) unterscheidet (Abb. 8.12).⁷⁴ Zugleich wurde PIV jedoch auch zu einem Oberbegriff für all jene Strömungsmessmethoden, in denen Partikelbewegungen optisch

71 Ronald J. Adrian, »Twenty years of particle image velocimetry«, in: *Experiments in Fluids* 39 (2005), S. 159–169, <https://doi.org/10.1007/s00348-005-0991-7>.

72 C. J. D. Pickering, N. A. Halliwell, »Laser speckle photography and particle image velocimetry: photographic film noise«, in: *Applied Optics* 23 (1984), S. 2961–2969.

73 Ronald J. Adrian, »Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs. particle image velocimetry«, in: *Applied Optics* 23 (1984), S. 1690–1691.

74 Jerry Westerweel, *Digital particle image velocimetry: Theory and application*, Delft: Delft University Press 1993, S. 13–15.

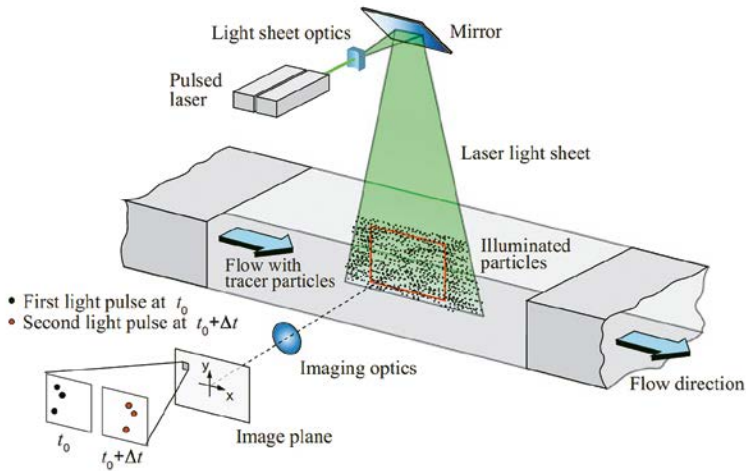


Abb. 8.13: In dem von Willert und Kompenhans mit-herausgegebenen Lehrbuch wird der experimentelle Aufbau der PIV-Methode schematisch dargestellt.

aufgezeichnet und dann computerbasiert quantifiziert werden. Dabei variieren je nach Anwendung die Art der Beleuchtung (wie gepulste Laser), die verwendeten Partikel (wie Öltropfen), die Aufzeichnungsmethoden (wie CCD) und die Art der Korrelation und Auswertung der Partikelbewegungen. All diese Parameter sind weiterhin Gegenstand intensiver Forschungen (Abb. 8.13).

Wissenschaftshistorische Literatur zur Geschichte von PIV existiert bis dato nicht. Stattdessen sind Selbsthistorisierungen einiger wichtiger Exponenten der PIV-Methode zu finden. Wie in der PIV-Analyse der Prandtl'schen Filme wurde in diesen Selbsthistorisierungen immer wieder versucht, PIV gewissermaßen in die Geschichte hinein zu verlängern, indem das grundlegende Prinzip von PIV (sowie verwandter Methoden) in früheren Forschungsarbeiten (wieder-)erkannt wurde. Denn die Methode, kleine feste Teilchen in eine strömende Flüssigkeit einzubringen, um dadurch das gesamte Geschwindigkeitsfeld der Strömung sichtbar zu machen und zu bestimmen, wurde lange vor 1984 angewandt.

Je nach Ambition und nationaler Tradition, in die sich die Fluidodynamiker einschreiben wollten, sowie je nach Schwerpunkt, den sie in der PIV-Entwicklung gelegt hatten, sind die darin konstruierten Ursprünge unterschiedlich. Morteza Gharib beispielsweise, Doktorvater von Willert, vergleicht in einem Text, den er unter anderem zusammen mit dem Kunsthistoriker Martin Kemp verfasst hat, die in seinem Labor erzeugten Bilder laserbasierter

Visualisierungstechniken mit den Zeichnungen von niemand geringerem als Leonardo da Vinci.⁷⁵ Für den oben genannten Adrian wiederum, der als einer der ersten den Terminus PIV benutzte, stammen die frühesten PIV-Analysen von den beiden britischen Strömungsforschern J. L. Nayler und R. A. Frazer.⁷⁶ Diese hatten bereits 1917 an einem kleinen Wasserkanal am National Physical Laboratory in Farnborough kinematografische Aufnahmen von mit Öltropfen durchsetzten Strömungen um einen Zylinder angefertigt, die jenen Prandtls und Tietjens sehr ähnlich sehen (Abb. 8.14).⁷⁷ Anhand der aufeinanderfolgenden Einzelbilder übertrugen sie die Partikelpositionen auf Papier und maßen die Länge der Abstände. Adrian betont, dass sie dadurch erstmals quantitative Messungen des Geschwindigkeitsfeldes turbulenter Strömungen von erstaunlicher Qualität erhielten.

Willerts und Kompenhans' PIV-Auswertungen der Aufnahmen Prandtls sind in dieser Linie der Selbsthistorisierungen zu verorten. Mit ihnen zelebrierten sie ein Doppeljubiläum: Für Kompenhans markierte die Analyse das 25-jährige Jubiläum seiner ersten PIV-Aufnahmen in Göttinger Windkanälen von 1984, zu denen er ein Symposium organisierte;⁷⁸ für Willert jährten sich 2009 zum zwanzigsten Mal seine zusammen mit Gharib erstellten PIV-Aufnahmen. Damit prägten sie den Begriff D-PIV (Digital PIV), weil diese Aufnahmen mit digitalen Videokameras gemacht wurden. Es war dann Willert, der die Strömungsfilme Prandtls in seinem Konferenzpaper für das internationale PIV-Symposium in Melbourne als »[p]robably some of the oldest time-resolved PIV image sequences still available today« beschreibt. Beim Bilderwettbewerb, den Daston und Galison als Nachfolger der Atlanten

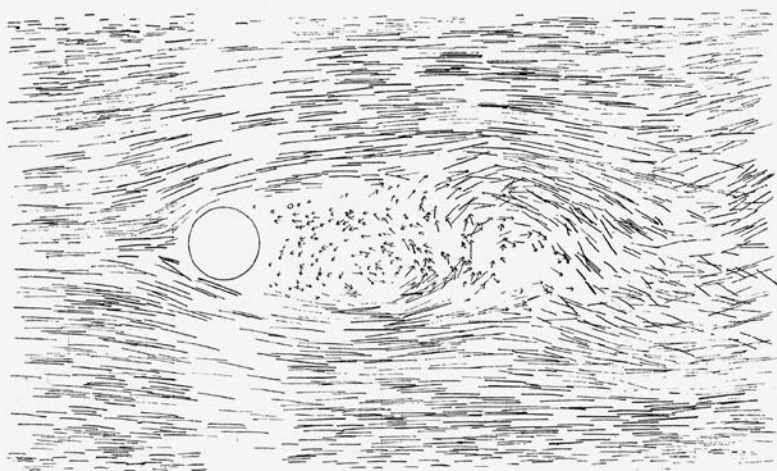
75 Morteza Gharib et al., »Leonardo's vision of flow visualization«, in: *Experiments in Fluids* 33, S. 219–223 (2002), <https://doi.org/10.1007/s00348-002-0478-8>. In Gharibs Labor hatten sie ein Glasmodell der Aortenwurzel (des Bereichs am Beginn der Aorta) nach Leonardos schematischen Zeichnungen nachgebaut und die Strömungsbewegungen darin unter anderem mit sogenannter Doppler-PIV untersucht. Im Artikel kommen Gharib und Kemp zum Ergebnis: »The images [...] bear striking similarities to Leonardos sketches of the flow [...] and attest to his observational power« (S. 222).

76 Ronald J. Adrian, *Bibliography of particle velocimetry using imaging methods 1917–1995*, Urbana-Champaign: Department of Theoretical and Applied Mechanics, College of Engineering 1996, S. 5, <http://hdl.handle.net/2142/112516>.

77 J. L. Nayler, R. A. Frazer, »Vortex Motion. (i) Preliminary Report upon an Experimental Method of Investigating, by the Aid of Kinematograph Photography, the History of Eddy Flow Past a Model Immersed in Water«, in: *Technical Report of the Advisory Committee for Aeronautics for 1917–18* 1 (1921), S. 18–25.

78 Klaus Hinsch, Jürgen Kompenhans, »25 Years of Particle Image Velocimetry in Aerodynamics«, CFP, https://velocimetry.net/downloads/Symposium_25_years_piv_in_aerodynamics.pdf, zuletzt besucht am 22. 3. 2024.

VORTEX MOTION.



Photograph of the "lines" obtained from the cinema film.

Time: Beginning of period (from 80 exposures).

Abb. 8.14: Nayler und Frazer gelten als Vordenker der PIV-Methode, da sie Wirbelbewegungen rekonstruierten, indem sie die Partikelpositionen aus aufeinander folgenden kinematografisch gewonnenen Einzelbildern in einem Bild zusammenführten.

beschreiben, trug das Video den Titel *PIV Analysis of Ludwig Prandtl's Historic Flow Visualization Films*, womit die »movies« zu historischen Strömungsvisualisierungen wurden. Im Textteil ihres entsprechenden Konferenzpapers interpretieren Willert und Kompenhans ihre PIV-Auswertung als Beweis für den wissenschaftlichen Fortschritt und für das Potential ihrer eigenen Methode: »Processing these image data with modern PIV algorithms allows the visualization of flow quantities (e. g. vorticity) that were unavailable prior to the development of the PIV technique.«⁷⁹ Was Willert und Kompenhans hier tun, ist die zeitgenössische Bedeutung von PIV auf Quantifizierung festzulegen. Vergleichbares lässt sich bei Adrian in seiner PIV-Bibliografie feststellen, in der er alle Schriften zu PIV von 1917 bis 1996 versammelte und von der er im Jubiläumsjahr 2009 eine »Göttingen Anniversary Edition« herausbrachte. Als Hauptkriterium für die Aufnahme in die Bibliografie galt ihm »that the work must deal with quantitative aspects of measurement«.⁸⁰

⁷⁹ Willert, Kompenhans, »PIV Analysis« (2010).

⁸⁰ Ronald Adrian, *Bibliography of Particle Velocimetry Using Imaging Methods: 1917–1995*

In gewissem Sinne wird mit PIV der historische Sinn der Strömungsanalyse auf Quantifizierung festgelegt.

Ähnlich wie der Infofilm des IWF betreiben die beiden Ingenieure in ihrem Paper eine Geschichtsschreibung, so könnte man ihnen vorwerfen, die Anachronismus mit einem teleologischen Fortschrittsoptimismus paart. Anachronistisch sind sie, insofern sie ihre Methode auf die Vergangenheit zurückprojizieren; fortschrittsteleologisch sind sie, weil sie die in den Wissenschaften übliche patrilineare Ursprungserzählung bis in ihre Gegenwart ziehen, um ihre eigene Methode zu bewerben. Der Computer ermögliche die Datenauswertung der analogen Simulation und verspreche Berechenbarkeit. Auch schon 1927 sei es vor allem um Quantifizierung gegangen, nur ist die eben gescheitert, so die unterliegende Teleologie. Eine Geschichtsschreibung von einer angeblich minderwertigen Vergangenheit hin zu einer glorreichen Zukunft, vermittelt durch eine kluge Gegenwart, gilt in der Wissenschaftsgeschichte in der Folge Herbert Butterfields und Thomas Kuhns als Kardinalverbrechen: »Whiggism«.⁸¹ Diese Art der Geschichtsschreibung produziert zahlreiche unzulässige Vereinfachungen. Sie wird Prandtls Experimenten und seinem Umgang mit Film nicht gerecht. Denn wie wir gezeigt haben, waren Filmaufnahmen für Prandtl keineswegs nur potenzielle Datenlieferanten für Geschwindigkeitsfelder, sondern vielmehr zentraler Teil seiner Choreografien der Evidenz.

Visuelles Argumentieren

Die anachronistische und teleologische Argumentation im Text des Papers passt jedoch nicht zur visuellen Argumentation der PIV-Analyse der 80 Jahre alten Strömungsaufnahmen. Die Frage danach, wie visuelles Argumentieren funktioniert, gewann in den letzten Jahren an Virulenz: Die Designtheoretikerin Johanna Drucker untersucht beispielsweise, welche visuellen Strukturen und Formen Argumentationen annehmen können;⁸² die Technikhistorikerin Martina Heßler identifiziert die »Verfahrensweisen

[Göttingen Anniversary Edition], Göttingen: DLR 2009, hier S. IX.

81 Für eine Geschichte des Whiggism vgl. Michael Gordin, »Book Review: The Tory Interpretation of History«, in: *Historical Studies in the Natural Sciences* 44/4 (2014), S. 413–423, insb. S. 419–421, <https://doi.org/10.1525/hsns.2014.44.4.413>.

82 Johanna Drucker, *Visualization and Interpretation. Humanistic Approaches to Display*, Cambridge, MA: MIT Press 2020. Mit vergleichbaren Fragen beschäftigt sich auch die Design Society, die auf inhaltlich-darstellerischer Ebene die Grenzen und Möglichkeiten von visual Papers auslotet, die sie definiert als »papers in which the visual components are essential in

der bildlichen Sinnerzeugung« als Kernfrage der Bildtheorie und der Wissenschaftsforschung;⁸³ und Peter Galison fordert eine Visual STS, die sowohl analysiert, wie Wissenschaftler:innen mit visuellem Material argumentieren, als auch selbst im Visuellen argumentiert und sich entsprechend anderer Formate bedient als dem des klassischen Papers.⁸⁴ Ein Verständnis visueller Argumentationsweisen ist ein weiterer und zugleich zentraler Aspekt der Frage danach, wie Filme und Videos zu wissenschaftlichen Publikationen eigenen Rechts werden können.⁸⁵

Willerts und Kompenhans' Video beginnt – nach Angabe ihrer Autorenschaft und institutionellen Anbindung – mit den historischen Filmbildern (allerdings mit falschen Angaben zur Bildaufnahmefrequenz, siehe Abb. zu Beginn des Kapitels). Erst in einem zweiten Schritt erscheinen die mittels PIV gewonnenen Messdaten als wären sie über die historischen Bilder gelegt, die im Hintergrund weiterlaufen. Das Video besteht folglich aus zwei visuellen Schichten, aber welche sind das? Repräsentieren die Wissenschaftler – Willert/Kompenhans und Prandtl – die Schichten? Geht es um das Digitale über (oder nach) dem Analogen? Ist es eine quantitative, also datenfokussierte Auswertung von Strömung versus eine qualitative, evidenz- und anschauungsorientierte Auswertung? Für wissenschaftshistorisch geschulte Leser:innen hallt in dieser Zweischichtigkeit die berühmte von Galison pointierte Unterscheidung von Image und Logic nach.⁸⁶ Andere mögen den doppelten Charakter digitaler Bilder darin erkennen, wie ihn beispielsweise der Medienwissenschaftler Simon Rothöhler beschreibt: »firstly as data sets with which computers can carry out calculations [...], and secondly as a visual form that can be recognized and viewed as an image by human perceptions.«⁸⁷ Der Horizont solcher Bestimmungen ist meist eine Gegenüberstellung von Maschinen- und Menschenlesbarkeit (wissenschaftlicher) Daten.

communicating the primary information while the text plays a supporting role« (vgl. <https://designsketching.designsociety.org/group/22/Visual+Papers>, zuletzt aufgerufen am 21. 4. 2024).

83 Martina Heßler, »II. Interpretationen«, in: Ralf Adelman et al. (Hg.), *Datenbilder: Zur digitalen Bildpraxis in den Naturwissenschaften*, Bielefeld: transcript 2009, S. 133–161, hier S. 153.

84 Peter Galison, »Visual STS«, in: Annamaria Carusi et al. (Hg.), *Visualization in the Age of Computerization*, New York: Routledge 2014, S. 197–225.

85 Zu dieser Frage vgl. auch Gunter Lösel, »Tags and tracks and annotations: Research Video as a new form of publication of embodied knowledge«, in: *International Journal of Performance Arts and Digital Media* 17/1 (2021), S. 1–15.

86 Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Physics*, Chicago, London: University of Chicago Press 1997.

87 Simon Rothöhler, »Calm Images: The Invisible Visual Culture of Digital Image Distribution«, in: Olga Moskatova (Hg.), *Images on the Move: Materiality – Networks – Formats*, Bielefeld: transcript 2021, S. 73–86, hier S. 74, <https://doi.org/10.1515/9783839452462-004>.

Der Fall der PIV-Auswertung ist komplexer als eine Gegenüberstellung von maschinenlesbaren Daten und von Menschen wahrnehmbaren Bildern. Denn beide Schichten (digitalisiertes Filmmaterial und PIV-Datenvisualisierung) sind bildliche Schichten und beide sind auf die menschliche Wahrnehmung ausgerichtet. Denn obwohl die PIV-Bilder aus Daten gewonnene Bilder sind, decken sie sich in ihrer Bildlichkeit in weiten Teilen mit der optischen Aufzeichnung: etwa in Bezug auf die zeitliche Auflösung, die räumliche Verteilung der Partikel, sowie den Bildausschnitt respektive den *cadre*. Die auffälligste Abweichung zwischen historischem Material und PIV-Bildern betrifft letztlich die bunte Aufbereitung der Wirbelstärke/*vorticity* als numerische Größe.⁸⁸ Der Einsatz von Farbe dient dabei, wie häufig bei wissenschaftlichen Datenbildern, vor allem der Markierung, Kontrastierung und damit einfacheren Unterscheidbarkeit.⁸⁹ Was zuvor durch das Strömen der Partikel in ihrer Bewegung im Film deutlich wurde, kann durch diese Färbung nun auch im Standbild abgelesen werden, was das Publizieren der visuellen Ergebnisse in herkömmlichen Printformaten enorm erleichtert: die schnellere oder langsamere Rotationen der Wirbel sind durch die Farben erkennbar (Abb. 8.15).

Die beiden Schichten implizieren eine Hierarchie. Im Vergleich zum angegrauten historischen Material erscheinen die Computervisualisierungen als das superiore Spätere und damit als das Hegemoniale. In der textlichen Argumentation von Willert und Kompenhans ist diese Hierarchie auf die Quantifizierung und Messdatengewinnung zugespitzt. Im Abstract zur Veröffentlichung des Videos auf dem AV-Portal der TIB heißt es: »This treatment of the historical material clearly demonstrates the progress made in flow visualisation, from the early, simple presentation to a quantitative measurement method.«⁹⁰ In dieser schon besprochenen Verkürzung der PIV-Methode auf Quantifizierung drückt sich die gängige Zielbestimmung vieler heutiger bildbasierter Messmethoden (weit über die Strömungsforschung hinaus) aus. Ziel sei die Gewinnung von Rohdaten, die je nach Anwendungs- oder Präsentationskontext verschieden visualisiert werden können. Visualisiert wird (nur), damit die Menschen die Daten verstehen können. In den Naturwissenschaften bezeichnet der Begriff Visualisierung daher häufig bloß die Aufbereitung von Daten zur besseren Verständlichkeit, nicht aber den umfassenderen Prozess der Sichtbarmachung.

88 Willert, Kompenhans, »PIV Analysis« (2010).

89 Zum Einsatz von Farbe vgl. Heßler, »II. Interpretationen« (2009), S. 150–152.

90 Anonym, »Particle Image Velocimetry (PIV) analysis of Ludwig Prandtl's historic flow visualisation films«, in: AV-Portal, <https://av.tib.eu/media/12719>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

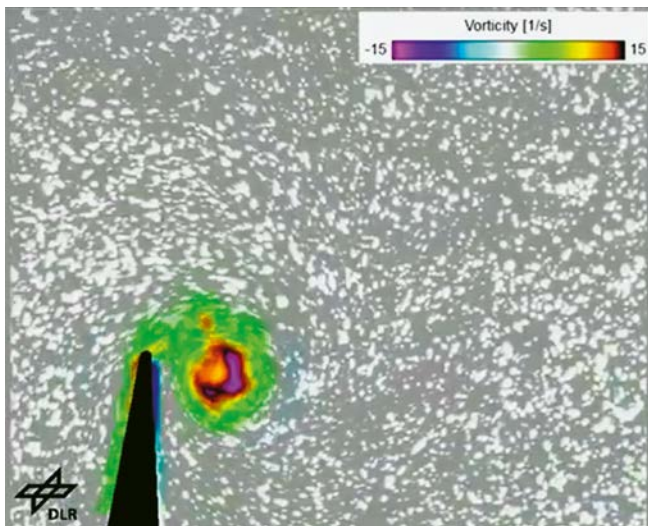


Abb. 8.15: Anhand der Farben werden in der PIV-Analyse schnellere und langsamere Rotationen der Wirbel erkennbar.

Da die untere Schicht in dem PIV-Video jedoch weiterhin erkennbar bleibt, stellt sich die Frage, ob die angebliche Hierarchie zwischen datenbasierter Computervisualisierung und historischem Material, aus dem die Daten gewonnen wurden, nicht auch durch das Video visuell befragt wird.⁹¹ Verweist das Überschreiben eines angeblich inferioreren Früheren durch ein vermeintlich superiores Späteres nicht vielmehr auf einen Bereich des Verdrängten jenseits hegemonialer Wissensmodelle? Das Überschriebene, Vergessene, Ausgeschlossene wird doch eher als Überlagertes aktualisiert oder kann folglich in seiner die Gegenwart prägenden Kraft erkannt werden. Wenn wir das PIV-Video auf eine solche Weise analysieren, wird die untenliegende Ebene der optischen Aufzeichnung (in Grau) und damit die Ebene

⁹¹ Eine solche Leseweise des Videos ist inspiriert vom Palimpsest, jener »Kulturtechnik des frühen Recyclings«, in der Texte durch Schaben oder Waschen von ihrem materiellen Träger entfernt wurden, welcher dann mit neuen Texten wiederbeschrieben werden konnte. Dennoch blieben die tieferen Schichten dabei mehr oder minder erkennbar, wodurch sich Sinnkorrelationen ergeben konnten. Insbesondere in der postkolonialen Theorie (bei Gayatri Chakravorty Spivak, Homi Bhaba und Anil Bhatti) ist das Palimpsest als Mittel der Kritik an hegemonialen Machtverhältnissen analysiert worden, vgl. Julian Osthuus, *Literatur als Palimpsest: Postkoloniale Ästhetik im deutschsprachigen Roman der Gegenwart*, Bielefeld: transcript 2017. Zitat bei Klaus Krüger, »Das Bild als Palimpsest«, in: Hans Belting (Hg.), *Bilderfragen: Die Bildwissenschaften im Aufbruch*, München: Fink 2007, S. 133–163, hier S. 140.

des historischen Filmmaterials und der Sichtbarmachung der Wirbel als das Verdrängte der bunten Datifizierung erkennbar. Es ist diese graue Schicht, die die Datenvisualisierung räumlich und zeitlich strukturiert,⁹² sowohl auf Bildebene mit den zeitaufgelösten, bewegten Partikeln sowie in einem weiteren Sinne, insofern die historische Filmschicht der PIV-Auswertung zugrunde liegt. Das Vergangene tritt folglich als Verdrängtes, als Anderes in der Gegenwart wieder hervor.

Wenn wir das Video auf diese Weise lesen, erscheint die darin zum Ausdruck kommende visuelle Argumentation weniger *whiggish*, weniger teleologisch als die sprachliche Argumentation. Der Wissenschaftsphilosoph und -historiker Hasok Chang – der sich als anti-anti-*whig* zu profilieren sucht – umreißt das Problem einer Fortschrittsgeschichtsschreibung wie folgt:

Scientific progress as we know it tends to involve the shutting down of alternative paths of inquiry, resulting in a loss of potential and actual knowledge. A critical and sympathetic engagement with the past allows us to recover the lost paths, which can also suggest new paths.⁹³

Die PIV-Analyse lässt sich aus dieser Perspektive zunächst als eine von Chang kritisierte Fortschrittsgeschichtsschreibung verstehen, in der alternative Pfade durch die Datifizierung verschüttet werden, die als hegemoniale Erzählung andere Erzählungen verdrängt. Wenn wir das PIV-Video jedoch als Schichtenvideo lesen, wird ein – in Changs Worten – »pluralism in history writing« denkbar, demzufolge die Datifizierung nur ein möglicher Pfad der Geschichte ist, der neben weiteren Pfaden bestehen kann. Wenn wir von der visuellen Argumentation der PIV-Auswertung ausgehen, lassen sich vergangene Aspekte der Methode wiedergewinnen, die in der eigenen Sichtweise der Wissenschaftler auf die Vergangenheit ignoriert wurden oder latent blieben. Eine solche Lektüre erlaubt es uns, das gegenwärtig hegemoniale Modell der Visualisierung und Datifizierung zu hinterfragen, und eröffnet im Sinne Changs einen Raum, in dem wir vergessene Pfade des Visuellen entdecken, neu prüfen und die Zirkulationen von Wissensbildern sichtbar machen können.

In unserer *liquid history* entsprechen die vergessenen Pfade den zahlreichen Flussläufen der Strömungsaufnahmen, die wir bis hierhin im Buch

92 Zur Darstellung von Zeitlichkeit in visuellen Argumentationen vgl. Drucker, *Visualization and Interpretation* (2020), S. 114–119.

93 Hasok Chang, »Presentist History for Pluralist Science«, in: *Journal for General Philosophy of Science* 52 (2021), S. 97–114, hier S. 97.

herausgearbeitet haben: Die bisher unaufgearbeitete epistemische Rolle von Film in der Theoriebildung Prandtls und der Fluidodynamik überhaupt; der Effekt der Aufführungschoreografie im internationalen Konferenzgeschehen der Zwischenkriegszeit; die ästhetische Dimension der Strömungsaufnahmen, die Begehrlichkeiten geweckt und zu den verschiedenen, häufig politisch motivierten Wiederverwendungen der Aufnahmen geführt hat – von der nationalsozialistischen Reichsstelle bis hin zur zeitgenössischen Kunst; sowie die diversen Versuche, die Strömungsaufnahmen in neuen Publikationsformaten der Wissenschaften zu benutzen.

Dieses letzte Kapitel hat uns an die von Csiszar beschriebenen »changing media landscapes of science« herangeführt. Wir befinden uns in einer Situation, in der das Schicksal des visuellen Papers weiterhin offen erscheint. Die Veröffentlichungsweisen bewegter Bilder changieren zwischen *supplementary material*, *enhanced publication*, Wettbewerbsbeitrag und audiovisuellen Wissenschaftsportalen. Ob und wann die wissenschaftlichen Bewegtbilder ihren nachrangigen Status als bloße Beigabe zum Text oder als ästhetisch beeindruckendes Mittel zur Popularisierung und Vermittlung, sowie ihr marginales Dasein auf nahezu unbekannten Internetplattformen der Wissenschaften hinter sich lassen, und sich als valide Formen des visuellen Argumentierens und Publizierens etablieren, wird sich noch zeigen müssen.

Fast 100 Jahre Strömungsfilm

Die Geschichte der Strömungsaufnahmen lässt sich als immer wieder neue Antwort auf eine Frage interpretieren, die wir von Donna Haraway leicht abgewandelt übernehmen: *What gets to count as flow, for whom and when, and how much it costs to produce flow at a particular moment in history for a particular group of people?*¹ Es sind Strömungsaufnahmen, die dem Flow ein bewegtes Bild gaben, ein Bild unter vielen anderen möglichen Bildern des Fließens, Strömens und Verwirbelns. Und sie sind so häufig wiederverwendet, umformatiert und umfunktionalisiert worden, weil immer wieder Menschen in ihnen das Potential gesehen haben, einen bestimmten Flow für eine bestimmte Gruppe zu einer bestimmten Zeit zu produzieren.

Flow zu produzieren hat nichts an Aktualität eingebüßt – genauso wenig wie die Strömungsaufnahmen. Sie haben nicht nur eine Geschichte, sondern auch eine Gegenwart. 2025, fast 100 Jahre nach der Produktion und Vorführung der ersten Version von *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, zirkulieren zahlreiche Wiederverwendungen und Aneignungen. In den gegenwärtigen Verwendungen zeigt sich, was aus den Aufnahmen im Laufe der letzten 100 Jahre geworden ist. In ihnen ist ihre Geschichte, der wir in diesem Buch bis in die unvorhersehbarsten Wiederverwendungen nachgegangen sind, sedimentiert. Ihnen eingeschrieben ist der prekäre Status von Filmen als wissenschaftliche Publikationen genauso wie das immer wieder aktualisierte Begehren nach dem richtigen, klarsten, repräsentativsten Bild der Strömung. Wie die Geschichte der Strömungsaufnahmen gezeigt hat, ist der Film mehr als einer und weniger als mehrere.

In den 2010er Jahren ruft der schwedische Mathematiker Claes Johnson mit seinen Schülern nichts weniger als eine »New Theory of Flight« aus.² Er kritisiert Prandtls Grenzschichttheorie und damit zusammenhängend dessen Tragflügeltheorie. Im Rahmen dieses erbitterten Kampfes gegen das Lehrbuchwissen der Fluidodynamik führt Johnson auf seinem Blog

1 Im Original heißt es: »What gets to count as nature, for whom and when, and how much it costs to produce nature at a particular moment in history for a particular group of people?«, vgl. Donna Haraway reads the *National Geographies on Primates* (1987, Paper Tiger Television).

2 Bspw. Johan Hoffman, Johan Jansson, Claes Johnson, »New Theory of Flight«, in: *Journal of Mathematical Fluid Mechanics* 18 (2016), S. 219–241, <https://doi.org/10.1007/s00021-015-0220-y>.

CJ on Mathematics and Science

TOWARDS UNDERSTANDING BY CRITICAL CONSTRUCTIVE INQUIRY

TISDAG 26 NOVEMBER 2019

Flying Impossible with Prandtl No-Slip Flow Separation

For when propositions are denied, there is an end of them, but if they be allowed, it requireth a new work. *The Essays of Sr. Francis Bacon*, London, 1612

The further a society drifts from the truth, the more it will hate those who speak it. *George Orwell*

Nothing is created by coincidence, rather there is reason and necessity for everything. *Leukippos*, 5th Century BC.

De Omnibus Dubitandum

Science advances one funeral at a time. *Max Planck*

VISITOR MAP

PAGE VIEWS **3,306,663**

ABOUT ME

CLAES JOHNSON
Professor of Applied Mathematics KTH
VISA HELA MIN PROFIL

CJ Mathematics Genealogy
CJ Google Scholar Citation
CJ Microsoft Academic Search
CJ WorldCat
CJ Homepage (old)

Ludwig Prandtl is named Father of Modern Fluid Mechanics because of his proposed resolution in 1904 of d'Alembert's paradox from 1755 based on the concept of **no-slip boundary layer** as a thin region connecting free flow velocity with zero relative velocity at a solid wall.

Prandtl thus proposed that the drag or resistance to motion of a more or less streamlined body like an airplane wing moving through air, is an effect of **boundary layer separation** causing a turbulent wake. Prandtl's scenario which has dominated 20th century fluid mechanics is illustrated in the above generic text book picture with the following elements:

1. No-slip: the flow velocity is zero on the surface of the (still) wing.
2. The boundary layer starts laminar at the leading edge stagnation point, grows in thickness with the flow and quickly after the crest of the wing turns turbulent and even thicker.
3. The flow decelerates after the crest by increasing pressure in the flow direction (**adverse pressure gradient**), which ultimately leads to reverse flow followed by flow separation into a turbulent wake creating drag.

But Prandtl's picture does not describe the actual flow dynamics around a wing, because this would not allow the wing to generate lift, which is the purpose of a wing. In short, this is because a flow with no-slip will separate already on the crest of the wing and little lift will be generated. The math is given below. You can see this effect in *Prandtl's famous film* of an airfoil dragged through a viscous fluid showing separation on the crest already at small angle of attack. Prandtl's wing would not fly.

Abb. 9.1: Der Mathematiker Claes Johnson verlinkt »Prandtl's famous film« auf seinem Blog, kritisiert dessen Theorie aber fundamental und wendet sich damit gegen das geltende Lehrbuchwissen der Strömungslehre.

bemerkenswerterweise auch »Prandtl's famous film« an (Abb. 9.1) und verlinkt diesen auf ein YouTube-Video der Tragflügelszenen.³ Sein Fazit lautet, dass man darin selbst sehen könne: »Prandtl's wing would not fly«.⁴

3 Vgl. *Ludwig Prandtl Historical Flow Visualization Film*, <https://www.youtube.com/watch?v=VcggiVSf5F8>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Eric Jan Grift, der PhD Student der TU Delft, der das Video hochgeladen hat, verwendet den Strömungsfilm auch in einem seiner Paper: E. J. Grift, M. J. Tummers, J. Westerweel, »Hydrodynamics of rowing propulsion«, in: *Journal of Fluid Mechanics* 918/A29 (2021), <https://doi.org/10.1017/jfm.2021.318>. Er verweist auf: <https://av.tib.eu/media/12263#t=05:48,08:16>.

4 Claes Johnson, »Flying Impossible with Prandtl No-Slip Flow Separation«, Blogeintrag in: *CJ*

Damit akzeptiert er den Film als das, wozu dieser im Laufe seiner Aufführungsgeschichte wurde: als visuelle Evidenz und visueller Teil von Prandtls Grenzschichttheorie. Johnson vollzieht seine Kritik an Prandtls Theorie mitunter an dem Film, und zieht dabei das darin enthaltene Versprechen einer technisch verwertbaren Strömungsforschung – die Eroberung der Lüfte – in Zweifel. In seiner Argumentation zeigt sich einerseits die andauernde Verbundenheit von Film und Theorie; und andererseits das Potential des Films, sich in seiner jeweiligen Gegenwart zu aktualisieren und entsprechend wirksam zu werden.

Als aktualisierbarer Datenlieferant und historische Ikone mit Überzeugungs potenzial fungiert der Film weiterhin in der Flow Visualization-Community. 2025 wird eine erneute digitale Reanalyse, die Christian Willert und Daniel Schanz mitunter auf Grundlage unserer Forschung erstellt haben, bei dem 21. International Symposium of Flow Visualization (ISFV) in Tokio vorgeführt.⁵ Die von uns in den Archiven gefundenen, hochaufgelösten Aufnahmen erwiesen sich als besser geeignet für die aktuellsten quantitativen Auswertungsmethoden mit PIV-Korrelationsalgorithmen und Tracking-Analyseverfahren wie dem Shake-the-Box-Algorithmus. Aber nicht nur das Begehren, die Strömungsaufnahmen mit den neuesten Verfahren zu quantifizieren, reicht bis in die Gegenwart. Auf dem Symposium selber dient der Strömungsfilm, wie schon in den 1920er und 30er Jahren, als nicht-sprachliches Überzeugungsmittel. Auf den Bühnen des wissenschaftlichen Auftritts können die Physiker-innen ihre Bewegtbilder als Showman respektive Showwoman in eine Choreografie der Evidenz einbauen (Abb. 9.2).

Weitgehend unkontextualisierte Schnipsel schlechter Qualität aus dem Film lassen sich auf YouTube finden. Die Tragflügel szenen sind etwa mit dem Titel *Prandtl's impulsive wing* als YouTube-Shorts zu sehen, jenes hochkant Kurzvideoformat, das die Plattform erst 2021 als Reaktion auf den Erfolg von TikTok einführte (Abb. 9.3).⁶ Ein weiteres Video stammt vom

on Mathematics and Science, <https://claesjohnson.blogspot.com/2019/11/flying-impossible-with-prandtl-no-slip.html>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Der Blogbeitrag wurde über drei Millionen Mal gesichtet (Stand 21. 4. 2025).

5 Christian E. Willert, Mario Schulze, Sarine Waltenspül, Daniel Schanz, Jürgen Kompenhans, »Prandtl's Flow Visualization Films meet Shake-The-Box«, am: 21th International Symposium on Flow Visualization, Tokio (2025).

6 Vgl. *Prandtl's impulsive wing*, https://www.youtube.com/shorts/2n_oEkCpqTE, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Hochgeladen wurde das Kurzvideo 2024 von einem Hydromechaniker der TU Delft, Gabe Weymouth, der die Aufnahmen Prandtls mit eigenen Visualisierungen der Software Waterlily vergleicht.

Analysis of “C1” using modern PIV / PTV algorithms



- 2009: Previous investigation of C1 and C2 used images retrieved from DVD (720 x 576 pixels)
- compression artefacts (JPG imagery)
- Digitization of original (1927) footage at higher resolution 2048 x 1536

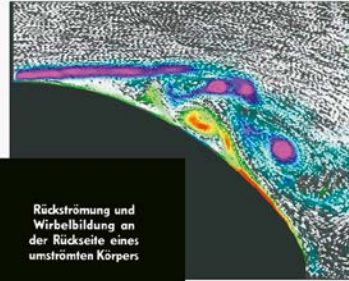
KWI, 1927

Film C1, 1936

PRODUCTION OF VORTICES
BY BODIES TRAVELLING IN
WATER

Photographs taken in the Kaiser Wilhelm
Research Institute for Hydrodynamics,
Duisburg, Germany
(Director: L. Prandtl)

Aus dem
Kaiser-Wilhelm-Institut
für Strömungsforschung,
Duisburg
(Leiter: Prof. Dr. L. Prandtl)



Rückströmung und
Wirbelbildung an
der Rückseite eines
umströmten Körpers

16

> ISFV18 - Tokyo > C. Willert > 23 June 2025

Abb. 9.2: Eingebunden in eine PowerPoint-Präsentation führte Christian Willert sowohl die Reanalyse von 2009 als auch neuerliche Reanalysen auf diversen internationalen Konferenzen vor.

Kanal navalapp, der sich zum Ziel gesetzt hat, Yachtdesign in Onlinekursen zu vermitteln (Abb. 9.4).⁷ Inhaltlich reaktivieren die YouTube-Aneignungen jene Hoffnungen in das Potential der Filmbilder, Strömung verstehbar und letztlich auch ingenieurtechnisch beherrschbar zu machen. Gerade in ihrer nüchternen, referenzlosen Klarheit und Kürze werden die Ausschnitte zum idealen Kurztutorial für ein Wissen vom Fließen, das für allerlei Designprobleme von Fluggeräten und Schiffen herhalten kann – analog zu ihren Wiederverwendungen als Lehrfilm im Nationalsozialismus oder im Kalten Krieg.

Die Strömungsaufnahmen respektive Aneignungen von diesen waren in den letzten Jahren in Kunstaussstellungen und auf Filmfestivals zu sehen. Ihre Ästhetik, die immer wieder zu faszinieren vermochte, und die Geschichte, die ihnen kaum anzusehen ist, gehen in den künstlerischen Wiederverwendungen ganz unterschiedliche Verbindungen ein. 2019 lief die im Eye Film-museum archivierte Vortragsfilmversion Prandtls unter falschem Titel und mit verfrühtem Produktionsjahr als »Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Korp (1925)« auf dem Netherlands Silent Film Festival in Amsterdam in einem Programm, dessen Klammer die niederländische Herkunft der

⁷ *Starting Vortex*, <https://www.youtube.com/watch?v=VzBVomE11Yo>, zuletzt besucht am 5.5.2025.

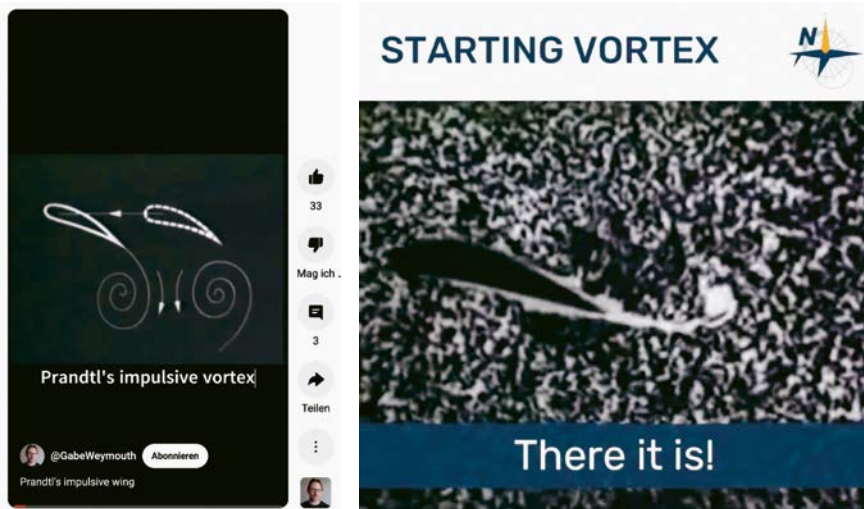


Abb. 9.3 und 9.4: Es finden sich einige Wiederverwendungen des Strömungsfilms auf YouTube, darunter auch ein YouTube-Shorts von Gabe Weymouth, Hydrodynamiker an der TU Delft, oder ein untertitelter Ausschnitt aus einem Erklärvideo von navalapp.

Filme oder Filmemacher·innen war.⁸ Gut möglich, dass der Strömungsfilm noch auf vielen weiteren Festivals lief. Da jedoch unterschiedliche Titel und Schreibweisen von Namen kursieren, bleiben Funde solcher Vorführungen oft dem Zufall geschuldet.

In dem Essayfilm *Unlearning Flow* von 2019 haben schließlich auch wir gemeinsam mit dem Künstler und Filmemacher Christoph Oeschger den Film wiederverwendet. *Unlearning Flow* lief auf internationalen Filmfestivals (Abb. 9.5), in Kunstaustellungen und im Vorprogramm eines Theaterstücks (Abb. 9.6).⁹ Ferner ist er Teil des *practice-based artistic* PhD von Christoph Oeschger.¹⁰ Der Essayfilm geht sowohl der nationalsozialistischen Vorgeschichte als auch dem Erbe des IWF nach, das den Strömungsfilm unter

8 »NSFF 2019«, Internet Archive, <https://web.archive.org/web/20210511165145/https://www.nsff.nl/en/nsff-2019-2/>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

9 Das Stück *Blackbox IWF* der Firma für Zwischenbereiche mit boat people projekt wurde 2019/20 im Roxy Birsfelden, im Schlachthaus Theater Bern, im Werkraum Göttingen und im Pavillon Hannover gezeigt. Die TIB hat nach der Vorstellung in Göttingen die Vorführungen von *Unlearning Flow* in Hannover untersagt.

10 Christoph Oeschger, *More than Meets the Eye – Christoph Oeschger*, PhD-Thesis University of the Arts Helsinki 2024, <https://www.researchcatalogue.net/view/2719418/2719401/o/o>, zuletzt besucht am 22. 4. 2025.

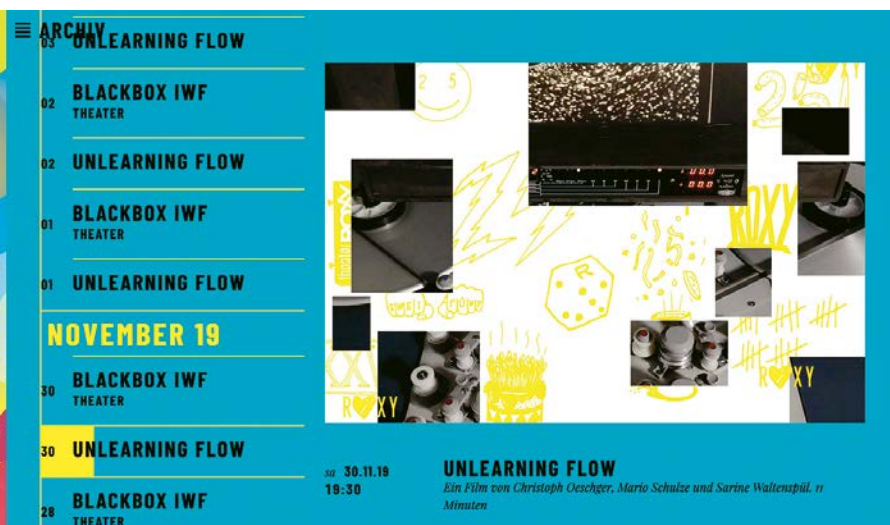
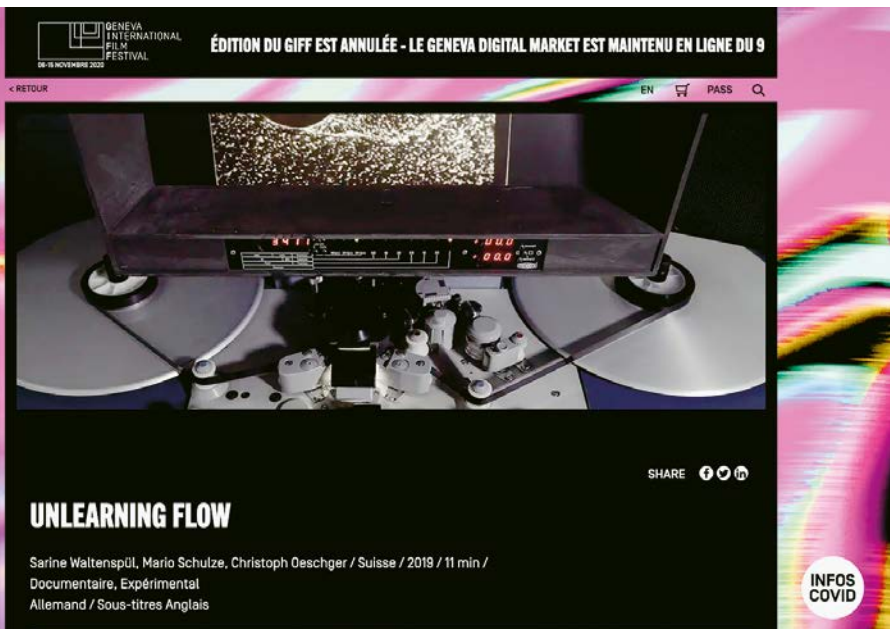


Abb. 9.5 und 9.6: Der Essayfilm *Unlearning Flow* von 2019, in dem wir mitunter anhand des Strömungsfilms der Geschichte des IWF nachgegangen sind, lief auf internationalen Filmfestivals und im Vorprogramm des Theaterstücks *Blackbox IWF*.

der Signatur C 1 Zeit seines Bestehens verlieh, und klagt das *whitewashing* der Institutsgeschichte nach dem Zweiten Weltkrieg bis in die Gegenwart an. Wir wollen den Strömungsfilm auf diese Weise mit seiner Geschichte und politischen Relevanz verknüpfen und im Sinne einer VSTS zweiter Ordnung zu einem »visually structured argument in the STS approach itself« werden lassen.¹¹

Seit 2022 ist der Strömungsfilm zudem Museumsfilm. Er ist in der Dauerausstellung des Forum Wissen, dem Wissens- und Universitätsmuseum Göttingens, im Raum »Atelier« zu sehen. Die Wände des Raums zieren allerlei gerahmte wissenschaftliche Bilder aus der Medizin, Astronomie, Biologie und Strömungsforschung in Petersburger Hängung. Die Besucher:innen sollen laut Katalog darin »die Visualisierung als Methode zur Erzeugung wissenschaftlicher Erkenntnis« erfahren, und zwar »zunächst fernab festgelegter akademischer Kategorien«.¹² Unter explizitem Verzicht auf Objektbeschriftungen sind Zeichnungen, Modelle, Fotos, Renderings, Grafiken und auch Filme zu sehen. Der Raum macht auf diese Weise ein visuelles Spektrum der Geschichte der Göttinger Wissenschaften erfahrbar (Abb. 9.7). Auch C 1 ist in einem Rahmen eingefasst – in nächster Nähe zu Filmen, die durch die Rfdu/RWU oder das IWF veröffentlicht wurden, sowie zu Bildern, die in den Göttinger Windkanälen erstellt wurden (Abb. 9.8). Seine Funktion als Exponat oszilliert dabei zwischen Erinnerung an die Göttinger Strömungs- und Filmforschung und (beliebigem) Beispiel für die Bildwelten der Wissenschaften.

Ferner finden sich zahlreiche Versionen in verschiedensten Formaten in Film- und Wissenschaftsarchiven, deren Zugänglichkeit kaum unterschiedlicher sein könnte: als dreiminütiges falsch benanntes Digitalisat im Videobooth am BFI, als unausleihbare 16mm-Kopien im Imperial War Museum in London oder der Linda Hall Library in Kansas City, als U-Matic (ohne Abspielmöglichkeit) im ETH Bildarchiv in Zürich, als einzige (uns bekannte) verbliebene Nitratkopie im Eye Filmmuseum, als 16mm, VHS, Digital Betacam, DVD und Digitalisat im TIB Filmarchiv in Rethen, als 16mm in der AMPG und was auch immer das Bundesarchiv alles für Schätze versteckt halten mag ...

»Beschreibungen von Flüssigkeiten sind wie Schnappschüsse, man muß

¹¹ Peter Galison, »Visual STS«, in: Annamaria Carusi et al. (Hg.), *Visualization in the Age of Computerization*, New York: Routledge 2014, S. 197–225, hier S. 204.

¹² Anonym, »Atelier«, in: Marie Luisa Allemeyer, Joachim Baur, Christian Vogel (Hg.), *Räume des Wissens: Die Basisausstellung im Forum Wissen*, Göttingen: Wallstein 2022, S. 313–314, hier S. 313.

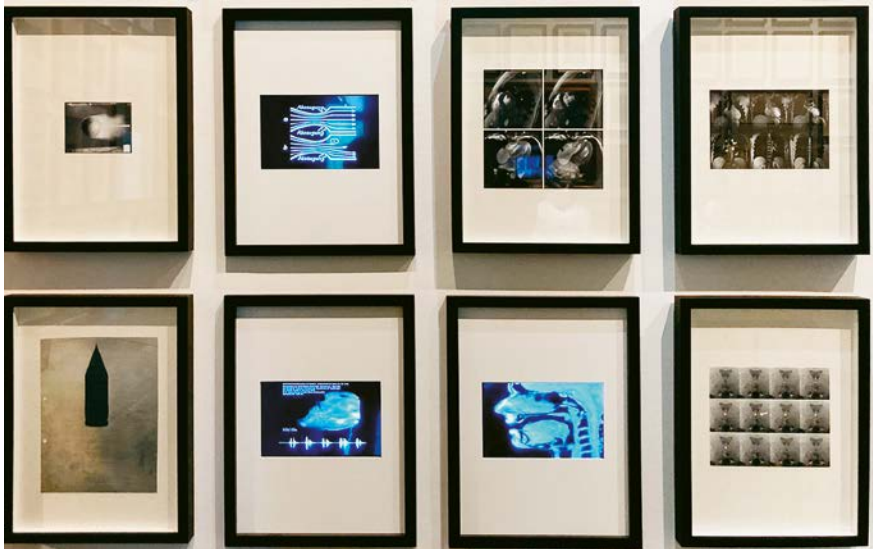


Abb. 9.7 und 9.8: Im Raum »Atelier« der Dauerausstellung des Forum Wissen in Göttingen, sind neben Zeichnungen, Modellen, Fotos und Renderings auch Filme zu sehen – so auch C 1 (unteres Foto, obere Zeile).

immer am unteren Rand die Zeit einblenden.«¹³ Zygmunt Baumans Beschreibung von Flüssigkeiten trifft sich mit unseren Beschreibungen der Filmaufnahmen: Wir mussten ihre einzelnen Verwendungen als zeitspezifische Schnappschüsse beschreiben, die jeweils andere Verwirbelungen von Politik, Ästhetik und Wissenschaft zeigten. Doch wie auch in der Fluidodynamik erst viele Einzelbilder das Bild des Gesamtverlaufs einer Strömung und ihrer Turbulenzen ergeben, so ergeben auch in der Geschichte der Aufnahmen erst ihre vielen Wiederverwendungen ein Bild von dem, was dieser wissenschaftliche Film war und ist.

Mit diesem Buch wollten wir nicht nur die Geschichte eines konkreten Films schreiben, sondern uns von dieser ausgehend einer Geschichte des wissenschaftlichen Films annähern. Denn was die Geschichte des Strömungsfilms aufgetan hat, sind die verschiedenen Spektren, in denen wissenschaftliche Filme existieren: ein Spektrum an möglichen Funktionen (Labor-, Vorführ-, Lehr-, Archiv- oder Datenfilme), ein Spektrum einiger Institutionen und Programme, die den wissenschaftlichen Film prägten (KWI, Rfdu, IWF, EC, ISFA, PSSC, Eye, TIB, etc.), sowie ein Spektrum an Publikationsformen (als Experimentalkinofilm, visuelles Paper, in Ausstellungen, auf Onlineplattformen). All diese Existenzweisen von wissenschaftlichen Filmen bestimmen ihre Wirksamkeit in Wissenschaft und Gesellschaft. Auch die unterschiedlichen Medienformate, in denen sie zirkulieren (von 35mm, über 16mm, 8mm, VHS, Digibeta, DVD bis hin zu diversen aktuellen digitalen Formaten) und die Materialität der entsprechenden Träger (Nitrozellulose, Acetat, Magnetband) können ihre Trajektorien beeinflussen.

Zudem hat sich gezeigt, dass sich wissenschaftliche Filme weder von einem Punkt ihrer Geschichte verstehen noch einzig unter Kategorien wie »Gebrauchsfilm«, »non-theatrical film« oder »educational film« subsumieren lassen. Betrachtet man wissenschaftliche Filme unter einem breiteren disziplinären wie historischen Blickwinkel, dann schrumpfen diese Kategorien zu Momentaufnahmen zusammen. Diese Polyvalenz stellt eine Herausforderung bei ihrer Erforschung dar, ist aber zugleich Bedingung für ihre Wirksamkeit in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen. Dadurch prägen wissenschaftliche Filme Disziplinen, produzieren *scopic regimes* und beeinflussen visuelle Kulturen. Ihre Polyvalenz ist darüber hinaus der Grund, warum es gilt, sich wissenschaftlichen Filmen innerhalb und außerhalb des Labors zu widmen – und sie weder als bloße Experimentalfilme zu verstehen, wozu sie in den Filmwissenschaften noch immer häufig gemacht werden, noch als bloße Anhängsel des Experimentalsystems, wozu sie in der

13 Zygmunt Bauman, *Flüchtige Moderne*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2003, S. 8.

Wissenschaftsgeschichte verdammt sind. Innerhalb von Experimentalsystemen sind Filme daran beteiligt, Phänomene zu produzieren. Aber vielmehr noch als andere Spuren des Experiments wecken sie das Bedürfnis, den Phänomenen immer wieder aufs Neue habhaft zu werden. Als Träger von Wissen materialisieren sie Epistemologien. Als Bildträger materialisieren sich Begehrlichkeiten in beziehungsweise an ihnen.

Verzeichnisse

Abkürzungen

APS: American Physical Society
A&T: Art and Technology Residency des Los Angeles County Museums
AVA: Aerodynamische Versuchsanstalt
BFI: British Film Institute
CAVS: Center for Advanced Visual Studies am MIT
CCCB: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona
CCD: Charge-Coupled Device
CNRS: Centre national de la recherche scientifique
DEGEWI: Deutsche Gesellschaft für wissenschaftliche Filme
DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOI: Digital Object Identifier
DPIV: Digital Particle Image Velocimetry
E.A. T.: Experiments in Art and Technology der Bell Laboratories in New Jersey
EC: Encyclopaedia Cinematographica
FIAF: Fédération Internationale des Archives du Film
FWU: Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht
IfdU: Institut für den Unterrichtsfilm
ISFA: International Scientific Film Association
ISFV: International Symposium on Flow Visualization
ISL: Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis
IWF: Institut für den Wissenschaftlichen Film
KWG: Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft
KWI: Kaiser-Wilhelm-Institut
LSV: Laser Speckle Velocimetry
LUCE: L'Unione Cinematographica Educativa
MAN: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
MIT: Massachusetts Institute of Technology
MkUI: Medizinisch-kinematographisches Universitätsinstitut
MPG: Max-Planck-Gesellschaft
NACA: National Advisory Committee for Aeronautics
NCFMF: National Committee for Fluid Mechanics Film
NHFA: Nederlands Historisch Film Archief

OMGUS: Office of Military Government for Germany (U.S.)
Onera: Office national d'études et de recherches aérospatiales
PIV: Particle Image Velocimetry
PSSC: Physical Science Studies Committee
PTV: Particle Tracking Velocimetry
RfdU: Reichsstelle für den Unterrichtsfilm
RWU: Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht
TIB: Technische Informationsbibliothek Hannover
Ufa: Universum Film AG

Archive

Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem (AMPG)
 Bauabteilung der Generalverwaltung (I/1B)
 Bestand des KWI für Strömungsforschung, Abteilung Reibungsforschung (I/44)
 Film- und Schallarchiv (VII/1)
 Nachlass Ludwig Prandtl (III/61)
 Unterlagen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, Zentrale Einrichtungen der KWG, Generalverwaltung der KWG (I/1A)
 Unterlagen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, Zentrale Einrichtungen der KWG, Karten und Pläne der KWG (IV/1)
 Unterlagen der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Generalverwaltung: Forschungspolitik/Aussenbeziehungen/Organe/Gremien (II/70)
 Unterlagen der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Gründungsakten (II/102)

British Film Institute, London (BFI)

Bundesarchiv (BArch), Berlin
 Bestand der Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (R/169)
 Deutsche Forschungsgemeinschaft (R/73)

Deutsches Museum Archiv, München
 Nachlass Ahlborn (NL 092)
 Strömungsaufnahmen des Physikers Friedrich Ahlborn (BA-A 00041)
 Bilder von Strömungsversuchen von Friedrich Ahlborn (CD 94431)

ETH Archiv, Zürich

Eye Filmmuseum, Amsterdam

IWF-Quellen Frankfurter Universitätsbibliothek, Frankfurt a. M.
 Die IWF-Quellen wurden durch Werner Große auf dem Publikationsserver der Frankfurter Universitätsbibliothek hinterlegt und können über die fünfstelligen Nummern, die er in

seinem Buch *Filme für die Wissenschaft – Die Epoche des Wissenschaftlichen Films in Göttingen* (2012), S. 108–110, angibt, abgerufen werden: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/>
IIHR-Hydrosience & Engineering, University of Iowa
Internet Archive, <https://archive.org/>

Linda Hall Library, Kansas City

Linda Hall Library Collections

Massachusetts Institute of Technology Archives, Cambridge, MA (MIT Archives)

Ascher H. Shapiro papers (MC-0387)

Massachusetts Institute of Technology, Office of the President Records (AC-12)

Massachusetts Institute of Technology Oral History Program, oral history on the Physical Science Study Committee (MC-0602)

Physical Science Study Committee (MC-0626)

Oral History Interviews with William R. Dickson (MC-0637)

Technischen Informationsbibliothek Hannover/Filmarchiv in Rethen (TIB)

TIB RWU A19

TIB RWU SO2 Arbeitsberichte bis 1941

TIB IWF Kataloge

TIB IWF 16083

TIB IWF 12863

TIB IWF 12553

TIB IWF 12765

TIB IWF 12485

TIB IWF HU 1945–47

Verzeichnisse der wissenschaftlichen Filme

Universitätsarchiv Göttingen, Göttingen

Personalakten der Universitätsleitung, Bestand Kuratorium Göttingen

Naturwissenschaftliche Promotionen

Philosophische Promotionen

Zentrales Archiv des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Göttingen (DLR)

Korrespondenz von L. Prandtl 1918–1920 (GOAR 1364)

Inaugural-Dissertation von Oskar Tietjens an der Philosophischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen (GOAR AK 14701)

Inaugural-Dissertation von Johann Nikuradse an der Philosophischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen, 1923 (GOAR AK 14742)

Schriftwechsel L. Prandtl von 1924 bis 1926 (GOAR 1362-b)

Bericht: Leistungsmessungen an zwei Mündungsebenen, Oberkommando des Heeres (GOAR 3663)

Versionen des Strömungsfilms

- Die digital verfügbaren Versionen finden sich unter: <https://researchfilm.net/fliessend/>
- Opnamen van stroomingen langs stilstaande en roterende cylinders*, 1925, 35mm, Eye Filmmuseum KOP34423.
- Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, Ludwig Prandtl/Oskar Tietjens, 1927, 35mm, verschollen.
- Prandtl's Experiments*, Ludwig Prandtl/Oskar Tietjens, 1927, 35mm, BFI 15461.
- Production of Vortices by Bodies Travelling in Water*, Ludwig Prandtl/Oskar Tietjens, ca. 1929, 35mm, AMPG F 140.
- Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, Ludwig Prandtl/Oskar Tietjens, ca. 1930, 35mm, AMPG F 152.
- Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern/Production of Vortices by Bodies Travelling in Water*, Ludwig Prandtl/Oskar Tietjens, ca. 1930, 35mm, Eye Filmmuseum KOP34499.
- Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen: 1. Entstehung von Wirbeln und künstliche Beeinflussung der Wirbelbildung* (C 1), Ludwig Prandtl, 1936, 16mm, Rfdu/RWU/IWF/TIB, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-1>.
- Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen: 2. Anwendungen auf die Strömung durch Krümmen, Hohlräume und Verzweigungsstücke* (C 2), Ludwig Prandtl, 1936, 16mm, Rfdu/RWU/IWF/TIB, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-2>. Von C 1 und C 2 liegen uns unterschiedliche Versionen vor: zwei 16mm-Rollen mit RWU-Vorspann von ca. 1940 sowie zahlreiche Kopien der Version aus dem IWF.
- Flow Separation and Vortex Shedding* (FM 12) und diverse weitere Film-Loops des National Committee for Fluid Mechanics Films, Ludwig Prandtl, 1962–1965, 8mm, MIT Archives.
- Particle Image Velocimetry (PIV) analysis of Ludwig Prandtl's historic flow visualisation films*, Chris Willert/Jürgen Kompenhans, 2010, <https://doi.org/10.5446/12719>.
- Ludwig Prandtl Historical Flow Visualization Film*, hochgeladen von E. J. Grift, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=VcggIVSf5F8>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Prandtl's impulsive wing*, hochgeladen von GabeWeymouth, YouTube, https://www.youtube.com/shorts/2n_oEkCpqTE, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Starting Vortex*, hochgeladen von navalapp, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=VzBVomE11Yo>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.

Rfdu-, RWU-, EC-, IWF-Filme

Angaben ohne Gewähr.

- Abdominale Totalexstirpation eines myomatösen Uterus* (C 13), Walter Stoeckel, Rfdu/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-13>.
- Ballistische Untersuchungen* (C 96), Joachim Kömmnick, Rfdu/RWU, 1937, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-96>.

- Beeinflussung des freigelegten Kaninchenherzens durch Reizung des Nervus vagus und durch Dyspnoe* (C 6), Alfred Trautmann, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-6>.
- Beschuß von Drähten und Panzerplatten* (C 142), Hubert Schardin/Wolfgang Struth, RfdU/RWU, 1937, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-142>.
- Blaufelchenfischerei am Bodensee – Der Fang mit dem Klugsgarn* (C 404), Hans-Joachim Elster/Willi Kuhl, RfdU/RWU, o. J., 16mm.
- Blaufelchenfischerei am Bodensee – Der Fang mit dem Schwebsatz* (C 405), Hans-Joachim Elster/Willi Kuhl, RfdU/RWU, 1943, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-405>.
- Der Bruchvorgang im Glas* (C 433), Hubert Schardin/Wolfgang Struth, RfdU/RWU, 1944, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-433>.
- Der Bruchvorgang im Glas – Historische Aufnahmen der Bruchausbreitung beim Beschuß verschiedener technischer Gläser (Cranz-Schardin-Verfahren)* (E 2355), Hubert Schardin/Wolfgang Struth/Dietrich Elle, IWF, 1976, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/E-2355>.
- Der Kuckuck als Brutschmarotzer* (F 248), Autor unbekannt, RfdU/RWU, 1939/40, 16mm.
- Der Leonhardirt in Tölz* (C 225), Gustav Bebermeyer, RfdU/RWU, 1938, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-225>.
- Die Hilfeleistung bei normalem Verlauf der Beckenendlage* (C 10), Walter Stoeckel, RfdU/RWU, o. J., 16mm.
- Dum-Dum-Wirkung* (C 229), Hubert Schardin/Wolfgang Struth/W. Woehl, RfdU/RWU, 1938, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-229>.
- Elephans maximus (L.) – Schritt (E 1)*, Paul Leyhausen, IWF, 1952/54, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/E-1>.
- Elephans maximus (L.) – Schritt II (E 86)*, Paul Leyhausen, IWF, 1955, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/E-86>.
- Elephans maximus – Trab (E 60)*, Paul Leyhausen, IWF, 1955, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/E-60>.
- Entfernung einer Hirngeschwulst aus dem rechten Schläfenlappen mittels Hochfrequenz* (C 80), Werner Haase, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-80>.
- Entwicklung der Honigbiene und des Bienenvolkes* (C 607), Karl von Frisch, IWF, 1950, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-607>.
- Farbensinn der Bienen* (C 3), Karl von Frisch, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-3>.
- Flugphysik I – Überströmung von Widerstandskörpern* (F 272), Autor unbekannt, RfdU/RWU, o. J., 16mm.
- Flugphysik II* (F 273), Autor unbekannt, RfdU/RWU, o. J., 16mm.
- Flugphysik III* (F 274), Autor unbekannt, RfdU/RWU, o. J., 16mm.
- Himba (Südwestafrika, Kaokoland) – Jungen und Mädchen beim Spiel »Tierehüten«* (E 3189), Irenäus Eibl-Eibesfeldt, IWF, 1993/96, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/E-3189>.
- Intelligenzprüfung an Affen* (C 5), Wilhelm Trendelenburg, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-5>.

Keimung und Wachstum der Erbse (C 8), Autor unbekannt, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-8>.

Kinder aus Lappland (F 85), Gösta Nordhaus, IWF, 1936, 16mm.

Korbflechterei (F 1), Autor unbekannt, RfdU/RWU, 1934, 16mm.

Naht eines bei operativer Geburt entstandenen Cervix-Risses (C 12), Walter Stoeckel, RfdU/RWU, o. J., 16mm.

Naht eines Rißbruches der Kniescheibe (C 148), Paul Rostock, RfdU/RWU, 1937, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-148>.

Operation einer Blasenscheidenfistel (C 11), Walter Stoeckel, RfdU/RWU, o. J., 16mm.

Spontangeburt in erster Gesichtslage (C 9), Walter Stoeckel, RfdU/RWU, o. J., 16mm.

Sprache der Bienen (C 4), Karl von Frisch, RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-4>.

Thigmotaxis, Thermotaxis, Galvanotaxis, Versuche an Paramecien, Alfred Trautmann (C 7), RfdU/RWU, 1936, 16mm, <https://doi.org/10.3203/IWF/C-7>.

Vaginale Myomoperation mit Morcellement (C 14), Walter Stoeckel, RfdU/RWU, o. J., 16mm.

Weitere Filme

11 Films, Joost Rekveld, 2019.

ABBA: The Movie, Jack Churchill, 1977.

Aggression and Destruction Games: Balloons, Joseph Stone, 1941.

Cheese Mites, Martin F. Duncan, 1903.

Commingleed Containers, Stan Brakhages, 1996.

Danses espagnoles, Germaine Dulac, 1928.

Das Segel der Zukunft. Der Flettner-Rotor, Alex Kossowsky, 1924.

Der Ameisenstaat, Ulrich K. T. Schulz/Nicholas Kaufmann, 1935.

Der Bienenstaat, Ulrich K. T. Schulz/Nicholas Kaufmann, 1937.

Die Versuchseinrichtung für die Untersuchungen am ›betriebstüchtigen‹ Kreiselrad, Hans Oertli/Franz Prášil, 1922, ETH Library Image Archives, FILM A 13.

Donna Haraway reads the National Geographies on Primates, Paper Tiger Television, 1987.

Electrons In A Uniform Magnetic Field, Educational Services Incorporated, 1959.

Ephemeral Solidity, Stan Brakhage, 1993.

Filmstudie, Hans Richter, 1926.

Flow Visualization, Jack Churchill/Ascher H. Shapiro, 1961.

Fluid Dynamics of Drag, Jack Churchill/Ascher H. Shapiro, 1960.

Gyromorphosis, Hy Hirsch, 1956.

Haut Voltage, James Whitney, 1965.

Jeux des Reflets et des Vitesse, Henri Chomettes, 1925.

Komposition in Blau, Oskar Fischinger, 1935.

La Cite des Abeilles, Andrev Winnitski, 1946.
Les cristaux liquides, Jean Painlevé, 1978.
Lichtspiel, Schwarz-Weiss-Grau, László Moholy-Nagy, 1930.
Lichtspiel Opus II, Walter Ruttmann, 1922.
Making Films That Teach, Encyclopaedia Britannica, 1954.
MIT Video Course Fluid Dynamics, Ascher H. Shapiro, 1984.
Monkey into Man, Julian Huxley, 1938.
Particles in Space, Len Lye, 1978.
Regen, Joris Ivens, 1929.
Rhythmus 21, Hans Richter, 1921.
Stromlinien, Oskar Fischinger, 1926/27.
Symmetricks, Stan Vanderbeek, 1971.
Symphonie diagonale, Viking Eggeling, 1923.
Symphonie einer Großstadt, Walter Ruttmann, 1929.
The Acrobatic Fly, Percy Smith, 1910.
Thèmes et variations, Germaine Dulac, 1929.
Trypanosoma bruce, Jean Comandon, 1909.
Uit het rijk der kristallen, Jean C. Mol, 1927.
Unlearning Flow, Christoph Oeschger/Mario Schulze/Sarine Waltenspül, 2019.
Vorticity, Jack Churchill/Ascher H. Shapiro, 1961.

Abbildungen

Umschlagabbildung: Screenshot einer PTV/Shake-the-Box-Analyse einer Strömungsaufnahme aus Prandtls Labor, Analyse erstellt von Daniel Schanz, veröffentlicht in: Christian Willert, Mario Schulze, Sarine Waltenspül, Daniel Schanz, Jürgen Kompenhans, »Prandlt's Flow Visualization Films meet Shake-The-Box«, am: *21th International Symposium on Flow Visualization*, Tokio (2025).

- o.1: Ludwig Prandtl, Oskar Tietjens, *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140. Zusammenstellung der Einzelbilder durch die Autor-innen.
- 1.1: Foto von Unbekannt, DLR Archiv, GOAR GK 423.
- 1.2: Cover *The Aeronautical Journal* 125 (2022), Gestaltung durch Wayne J. Davis.
- 1.3: Ludwig Prandtl, »Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung«, in: *Verhandlungen des III. Internationalen Mathematiker-Kongresses Heidelberg 1904*, Leipzig: Teubner 1905, S. 484–491, hier S. 488–489. Foto der Autor-innen.
- 1.4: Étienne-Jules Marey, »Le mouvement des liquides étudié par la chronophotographie«, in: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* 116 (1893), S. 913–924, hier S. 921.

- 1.5: Henry Hele-Shaw, »Investigation of the nature of surface resistance of water and of stream-line motion under certain experimental conditions«, in: *Transactions of the Institution of Naval Architects* 39 (1898), 21–46, Tafel 21–22.
- 1.6: Foto der Laboreinrichtung Friedrich Ahlborns, Glasplattenscan, Deutsches Museum, München, Archiv, BN27974.
- 1.7: Ludwig Prandtl, »Bericht über die Göttinger Modellversuchsanstalt«, in: Ders., *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer 1961, S. 1263–1270, hier S. 1268.
- 1.8: Strömungsaufnahmen Friedrich Ahlborn, Glasplattenabzüge, Deutsches Museum, München, Archiv, CD94431.
- 2.1: Foto der Laboreinrichtung des KWI für Strömungsforschung, Glasplattenscan, DLR GOAR, FS 172.
- 2.2: Foto der Laboreinrichtung des KWI für Strömungsforschung, Glasplattenscan, DLR GOAR, FS 480.
- 2.3: *Opnamen van stroomingen langs stilstaande en roteerende cylinders*, 1925, Digitalisierung durch das Eye Filmmuseum KOP34423. Screenshot der Autor-innen.
- 2.4: Grundriss hydrodynamisches Institut, 1924, AMPG IV/1/o870.
- 2.5: Bildseite aus der Inaugural-Dissertation von Johann Nikuradse an der Philosophischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen, 1923, DLR GOAR AK 14742.
- 2.6: Zeitungsannonce zum Film *Das Segel der Zukunft. Der Flettner Rotor*, 1924, in: Ingenieurbüro Böger (Hg.), »Der Flettner Rotor«, <http://flettner-rotor.de/geschichte/buckau/>, zuletzt besucht am 10. 10. 2025.
- 2.7: Ludwig Prandtl, Oskar Tietjens, »Kinematographische Strömungsbilder«, in: *Die Naturwissenschaften* 13 (1925), S. 1050–1053, hier S. 1051.
- 2.8, 2.9: *Opnamen van stroomingen langs stilstaande en roteerende cylinders*, 1925, Digitalisierung durch das Eye Filmmuseum KOP34423. Screenshot der Autor-innen.
- 2.10: *Opnamen van stroomingen langs stilstaande en roteerende cylinders*, 1925, Eye Filmmuseum KOP34423. Foto der Autor-innen.
- 2.11: Foto von Unbekannt, Gustav Krupp, »Luftfahrt-Wissenschaft und Praxis«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 16/17–18 (1925), S. 326–368, hier S. 331.
- 2.12, 2.13, 2.14: Foto von Unbekannt, AMPG VI/1/Fotografien: KWI Strömungsforschung 5.
- 2.15: Jean Le Rond d'Alembert, *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides*, Paris: David 1752, Tafel 1.
- 3.1: Zeichnung von Unbekannt, aus: *From Who's Who in the Theatre*, 1930. Mit freundlicher Genehmigung von Matthew Lloyd www.arthurlloyd.co.uk.
- 3.2: Turbulenzaufnahmen Johann Nikuradse, ca. 1923–25, AMPG F142. Screenshot der Autor-innen.
- 3.3, 3.4: Franz Prášil, Heinrich Oertli, *Die Versuchseinrichtung für die Untersuchungen am »betriebstüchtigen« Kreisrad*, 1922, ETH Archiv, FILM A 13. Screenshots der Autor-innen.

- 3.5: Franz Prášil, »Verschiedene Strömungserscheinungen«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. 474–476, Tafeln XXI–XXII.
- 3.6: Ludwig Prandtl, *Prandtl's Experiments*, 1924 [1925–1927], BFI 15461. Foto der Autor:innen.
- 3.7: Prandtl/Tietjens, *Production of Vortices by Bodies Travelling in Water*, ca. 1929, AMPG F140. Screenshots der Autor:innen.
- 3.8: Zeichnung von Unbekannt, AMPG III/61/1985.
- 3.9: Hermann Böhme, *Eine Reise um die Erde in 170 Tagen*, 1929–1930, GOAR FS-1836.
- 4.1: Siegel aus Curt Fladrich, »Die technische Herstellung eines Unterrichtsfilms 4. Teil«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 7 (Okt. 1935), S. 121–128, hier S. 126.
- 4.2, 4.3: Siegel aus Verena Niethammer, »Indoktrination oder Innovation? Der Unterrichtsfilm als neues Lehrmedium im Nationalsozialismus«, in: *Journal of Educational Media, Memory, and Society* 8/1 (2016), S. 30–60, hier S. 36.
- 4.4: Aktenblatt, TIB IWF 12820. Foto der Autor:innen.
- 4.5: Darstellung aus Curt Fladrich, »Die technische Herstellung des Unterrichtsfilms 2. Teil«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 1 (Aug. 1935), S. 88–92, hier S. 89–91.
- 4.6: Version des Strömungsfilms von ca. 1930–32, AMPG F152. Screenshot der Autor:innen.
- 4.7: RfdU/RWU-Version von Ludwig Prandtl, *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen*, 1936. Foto der Autor:innen.
- 4.8: Karteikarte, TIB.
- 4.9: Prandtl, *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen*, RfdU/RWU. Screenshot der Autor:innen.
- 4.10: Foto von Unbekannt, 1936, Rechtsnachfolge unbekannt. Das Bild ist über diverse Bildagenturen zu erwerben.
- 4.11: Prandtl, *Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen*, RfdU/RWU. Screenshot der Autor:innen.
- 4.12: Bildsammlung Karl Fritz »Um Volk und Reich« (Ereignisse von 1918 bis in die NS-Zeit, NS-Propaganda), Landesarchiv Baden-Württemberg, Abt. Staatsarchiv Freiburg, W 145/2/543.
- 5.1, 5.2: Version C 1 aus dem Nachlass Prandtls, AMPG F186 4. Screenshot der Autor:innen.
- 5.3: Filmschachtel, TIB. Foto der Autor:innen.
- 6.1: Ascher Shapiro, Jack Churchill, *Vorticity*, 1961, NCFMF/Education Development Center, Digitalisierung MIT Archives. Mit freundlicher Genehmigung der MIT Archives. Zusammenstellung der Einzelbilder durch die Autor:innen.
- 6.2: Ludwig Prandtl, *Flow Separation and Vortex Shedding* (FM 12), 1962, NCFMF/Education

- Development Center, Digitalisierung MIT Archives. Mit freundlicher Genehmigung der MIT Archives. Zusammenstellung der Einzelbilder durch die Autor:innen.
- 6.3, 6.4: Fotos aus dem Bestand Shapiro Papers MC-0387. Mit freundlicher Genehmigung der MIT Archives.
- 6.5: Cover Ascher Shapiro, *Shape and Flow*, New York: Anchor Books 1961. Gestaltung Robert Flynn. Mit freundlicher Genehmigung von Penguin Random House.
- 6.6: Prandtl/Tietjens, Einzelbild aus *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140.
- 6.7: Ascher Shapiro, *MIT Video Course Fluid Dynamics*, 1984, MIT/CAES. Digitalisierung des Video Course durch MIT Archives. Zusammenstellung der Einzelbilder durch die Autor:innen.
- 7.1: Webseite Avanto Festival, <http://www.avantofestival.com/2005/main.php?ln=fi&sub=1&pg=crystals>, zuletzt besucht am 29.12.2022. Screenshot der Autor:innen.
- 7.2: Cover Joost Rekvelde, *11 Films*, Paris: Re:Voir 2019. Gestaltung Isabelle Vigier.
- 7.3: Prandtl/Tietjens, *Production of Vortices by Bodies Travelling in Water*, ca. 1930, Eye Filmmuseum KOP34499. Foto der Autor:innen.
- 7.4: Prandtl/Tietjens, *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140. Screenshot der Autor:innen.
- 7.5: Jean Painlevé, *Les cristaux liquides*, 1978. Screenshot der Autor:innen.
- 7.6: Jean C. Mol, *Uit het rijk der kristallen*, 1927. Screenshot der Autor:innen.
- 7.7: László Moholy-Nagy, *Lichtspiel, Schwarz-Weiss-Grau*, 1930. Screenshot der Autor:innen.
- 7.8: Prandtl/Tietjens, *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140. Screenshot der Autor:innen.
- 7.9: Oskar Fischinger, *Stromlinien*, 1926/27, Scan der Filmstreifen durch die AMPG, AMPG I/44/558.
- 7.10: Stan Brakhage, *Commingle Containers*, 1996. Screenshot der Autor:innen.
- 7.11: Prandtl/Tietjens, *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140. Screenshot der Autor:innen.
- 7.12: Len Lye, *Particles in Space*, 1978. Screenshot der Autor:innen.
- 7.13: Viking Eggeling, *Symphonie diagonale*, 1923. Screenshot der Autor:innen.
- 7.14: Walter Ruttmann, *Lichtspiel Opus II*, 1922. Screenshot der Autor:innen.
- 7.15: Prandtl/Tietjens, *Entstehung von Wirbeln bei in Wasser bewegten Körpern*, ca. 1929, AMPG F140. Screenshot der Autor:innen.
- 7.16: Hans Richter, *Filmstudie*, 1926. Screenshot der Autor:innen.
- 7.17: Cover Joost Rekvelde, *11 Films*, Paris: Re:Voir 2019. Gestaltung Isabelle Vigier.
- 7.18: *Making of Double Points OYTIE 2010*, Channel ICK Dans Amsterdam, 2021, https://www.youtube.com/watch?v=PQO2_uUWQ5c&ab_channel=ICKDansAmsterd. Screenshot der Autor:innen.
- 8.1: Chris Willert, Jürgen Kompenhans, *Particle Image Velocimetry (PIV) analysis of Ludwig*

- Prandtl's historic flow visualisation films*, 2010, <https://doi.org/10.5446/12719>. Screenshots der Autor:innen.
- 8.2: Foto von Unbekannt. Mit freundlicher Genehmigung von Kyung Chun Kim.
 - 8.3: Urkunde Best Movie Award, ISPIV 14. Mit freundlicher Genehmigung von Kyung Chun Kim.
 - 8.4: Webseite *A Gallery of Fluid Motion*, Internet Archive, https://web.archive.org/web/20120306022444/http://pof.aip.org/gallery_of_fluid_motion, zuletzt besucht am 24. 4. 2024. Screenshot der Autor:innen.
 - 8.5: Cover Lorraine Daston, Peter Galison, *Objektivität*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2007.
 - 8.6: Cover Milton van Dyke, *An Album of Fluid Motion*, Stanford: The Parabolic Press 1982. Coverbild *Kármán Vortex Street Behind a Circular Cylinder at $R = 140$* von dem japanischen Fluidynamiker Sadatoshi Taneda.
 - 8.7: Webseite des AV-Portals der TIB, <https://av.tib.eu/search?sort=views>, Stand 6. 7. 2025. Screenshot der Autor:innen.
 - 8.8: Britta Eichner-Ramm, »Historische Filme von Wirbeln und Strömungen«, in: *Göttinger Tageblatt*, 2. 10. 2009, S. 11.
 - 8.9: DVD-Menü *Ludwig Prandtl – Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen*, IWF Wissen und Medien. Screenshot der Autor:innen.
 - 8.10, 8.11: *Anfänge der Strömungsforschung in Göttingen*, IWF Wissen und Medien 2009. Screenshot der Autor:innen.
 - 8.12: Jerry Westerweel, *Digital particle image velocimetry: Theory and application*, Delft: Delft University Press 1993, S. 14
 - 8.13: Markus Raffel et. al., *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*, Berlin: Springer 2018, S. 8.
 - 8.14: J. L. Nayler, R. A. Frazer, »Vortex Motion. (i) Preliminary Report upon an Experimental Method of Investigating, by the Aid of Kinematograph Photography, the History of Eddying Flow Past a Model Immersed in Water«, in: *Technical Report of the Advisory Committee for Aeronautics for 1917–18 1* (1921), S. 18–25, Abb. 2.
 - 8.15: Willert/Kompenhans, *Particle Image Velocimetry (PIV) analysis of Ludwig Prandtl's historic flow visualisation films*, 2010, <https://doi.org/10.5446/12719>. Screenshot der Autor:innen.
 - 9.1: Webseite Claes Johnson, »Flying Impossible with Prandtl No-Slip Flow Separation«, Blogbeitrag in: *CJ on Mathematics and Science*, <https://claesjohnson.blogspot.com/2019/11/flying-impossible-with-prandtl-no-slip.html>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Screenshot der Autor:innen.
 - 9.2: Powerpoint Präsentation Christian Willert, Mario Schulze, Sarine Waltenspül, Daniel Schanz, Jürgen Kompenhans, »Prandtl's Flow Visualization Films meet Shake-The-Box«, am: 21th *International Symposium on Flow Visualization*, Tokio (2025). Screenshot der Autor:innen.
 - 9.3: *Prandtl's impulsive wing*, hochgeladen von GabeWeymouth, YouTube, https://www.youtube.com/shorts/2n_oEkCpqTE, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Screenshot der Autor:innen.
 - 9.4: *Starting Vortex*, hochgeladen von navalapp, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=VzBVomE11Yo>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025. Screenshot der Autor:innen.

- 9.5: Webseite GIFF, <https://2025.giff.ch/2020/en/events/unlearning-flow-en/>, zuletzt besucht am 21. 4. 2025. Screenshot der Autor-innen.
- 9.6: Webseite Theater Roxy, <https://theater-roxy.ch/spielplan/archiv/detail/90/unlearning-flow/?p=238>, zuletzt besucht am 21. 4. 2025. Screenshot der Autor-innen.
- 9.7: Dauerausstellung des Forum Wissen in Göttingen. Foto der Autor-innen.
- 9.8: Dauerausstellung des Forum Wissen in Göttingen. Foto der Autor-innen.

Literatur

- Ackeret, Jakob, »Neuere Untersuchungen der Aerodynamischen Versuchsanstalt, Göttingen«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1924 12* (1925), S. 57–65, <https://doi.org/10.1515/9783486749953-010>.
- Ackroyd, J. A. D./B. P. Axccl/A. I. Ruban, *Early Developments of Modern Aerodynamics*, Oxford: Butterworth-Heinemann 2001.
- Acland, Charles/Haidee Wasson, »Introduction: Utility and Cinema«, in: Dies. (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 1–14.
- Adams, Daniel, »H2EEF 11 Composing Images with Joost Rekveld«, in: *How to Enjoy Experimental Film 11*, Podcast, 22. 4. 2021, <https://anchor.fm/h2eef/episodes/H2EEF-11-Composing-Images-with-Joost-Rekveld-evcbk4>.
- Adrian, Ronald J., »Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs. particle image velocimetry«, in: *Applied Optics* 23 (1984), S. 1690–1691.
- Adrian, Ronald J., *Bibliography of particle velocimetry using imaging methods 1917–1995*, Urbana-Champaign: Department of Theoretical and Applied Mechanics, College of Engineering 1996, <http://hdl.handle.net/2142/112516>.
- Adrian, Ronald J., *Bibliography of Particle Velocimetry Using Imaging Methods: 1917–1995* [Göttingen Anniversary Edition], Göttingen: DLR 2009.
- Adrian, Ronald J., »Twenty years of particle image velocimetry«, in: *Experiments in Fluids* 39 (2005), S. 159–169, <https://doi.org/10.1007/s00348-005-0991-7>.
- Ahlborn, Friedrich, »Hydrodynamische Experimentaluntersuchungen«, in: *Jahrbuch der Schiffbau-technischen Gesellschaft* (1904), S. 417–453.
- Ahlborn, Friedrich, »Demonstration einiger kinematografischer Aufnahmen von Flüssigkeitsbewegungen«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 3/3 (1912), S. 32–33.
- Ahlborn, Friedrich, »Die Ablösetheorie der Grenzschichten und die Wirbelbildung«, in: *Jahrbuch der wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1927* (1927), S. 171–188.
- Alves dos Santos, Fabricio Felice, »*A apoteose da imagem*«: *Cineclubismo e crítico cinematográfica no Chaplin-Club*, São Carlos: UFSCar 2016.
- Anderson Jr., John D., »Ludwig Prandtl's Boundary Layer«, in: *Physics Today* 58 (2005), S. 42–48, <https://doi.org/10.1063/1.2169443>.

- Annegarn-Gläß, Michael, *Neue Bildungsmedien revisited: Zur Einführung des Lehrfilms in der Zwischenkriegszeit*, Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt 2020.
- Anonym, »Bericht über die V. ordentliche Hauptversammlung«, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft* 5 (1904), S. 57–62.
- Anonym, »Lichtspielgesetz. Vom 12. Mai 1920«, <http://www.documentarchiv.de/wr/1920/lichtspielgesetz.html>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.
- Anonym, »Ein Segelschiff ohne Segel. Umwälzende Erfindung in der Seeschifffahrt«, in: *Deutsche Allgemeine Zeitung*, Ausgabe Groß-Berlin, Abendblatt, 1. 11. 1924, S. 1.
- Anonym, »2. Internationaler Kongress für technische Mechanik in Zürich«, in: *Schweizerische Bauzeitung* 87/88 (1926), S. 198–199.
- Anonym, »III. Kurzer Bericht über den Verlauf der XIV. Ordentlichen Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt (WGL) vom 9. bis 11. September 1925 in München«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1925 13 (1926), S. 17–22.
- Anonym, »Wilbur Wright Memorial Lecture, 16th May 1927«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 718–720.
- Anonym, »Die Avantgarde im Stuttgarter Programm. Donnerstag – Beginn der Filmschau«, in: *Film-Kurier* 11/139, 13. 6. 1929.
- Anonym, »Die Stuttgarter Sondervorführungen der Werkbundaustellung Film und Photo [sic]«, in: *Lichtbildbühne* 22/145, 19. 6. 1929.
- Anonym, »Lichtspielgesetz. Vom 16. Februar 1934«, in: *Reichsgesetzblatt* 17 (1934), S. 95.
- Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 1 (Nov. 1935), S. 156–157.
- Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild* 1 (Dez. 1935), S. 176–178.
- Anonym, »Arbeitsbericht der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm«, in: *Film und Bild* 1 (Jan. 1936), S. 22–27.
- Anonym, »International Scientific Film Association«, in: *Nature* 160/601 (1947), S. 601, <https://doi.org/10.1038/160601b0>.
- Anonym, »ASME Catalog of Motion Pictures of Research Data in Fluid Mechanics and Heat Transfer«, in: *Journal of Fluids Engineering* 98/2 (1976), S. 151–155.
- Anonym, »Jedem seine eigene Wissenschafts-Show – Clipdatenbank im Internet macht es möglich«, Wissenschaftsgemeinschaft Georg Leibniz (WGL), Pressemitteilung vom 22. 8. 2000.
- Anonym, »Joost Rekvelde presenteert 4D«, in: *Zine. Filmmuseummagazine* 7 (Sept. 2004), S. 8.
- Anonym, »Programma A–Z«, in: *Zine. Filmmuseummagazine* 7 (Sept. 2004), S. 20.
- Anonym, »Alte Filme neu auf DVD«, *Göttinger Tageblatt*, 2. 10. 2009, S. 1.
- Anonym, Programmflyer Internationale Sommerakademie »Wo kommen unsere Energien her?«, Essen 2010, <http://www.prometheus2010.de/>, zuletzt besucht am 11. 12. 2022.
- Anonym, »Joost Rekvelde en zintuiglijke mediakunst als startschot voor ART MACHINES«, in: *De Nuk*, 18. 5. 2019, <https://denuk.nl/joost-rekvelde-en-zintuiglijke-mediakunst-als-startschot-voor-art-machines/>, zuletzt besucht am 17. 4. 2023.

- Anonym, »Atelier«, in: Marie Luisa Allemeyer, Joachim Baur, Christian Vogel (Hg.), *Räume des Wissens: Die Basisausstellung im Forum Wissen*, Göttingen: Wallstein 2022, S. 313–314.
- Anonym, *A Gallery of Fluid Motion*, <https://gfm.aps.org/about>, zuletzt besucht am 24. 4. 2024.
- Anonym, »DELFT: Digitalisierung EthnoLogischer FilmbesTand«, <https://projects.tib.eu/delft/>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Anonym, »Medienbestand der ehemaligen IWF Wissen und Medien gGmbH«, <https://www.tib.eu/de/recherchieren-entdecken/sondersammlungen/iwf-medienbestand>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Anonym, »Nature Careers: Working Scientist Competition, Terms and Conditions«, <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-024-00688-3/26828438>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.
- Anonym, »Particle Image Velocimetry (PIV) analysis of Ludwig Prandtl's historic flow visualisation films«, in: AV-Portal, <https://av.tib.eu/media/12719>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Arnold, Dana, *The Metropolis and its Image: Constructing Identities for London, 1750–1950*, London: Blackwell 2002.
- Ash, Mitchell, »Wissenschaft und Politik als Ressourcen für einander«, in: Rüdiger von Bruch, Brigitte Kaderas (Hg.), *Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts*, Stuttgart: Steiner 2002, S. 32–51.
- Ash, Mitchell, »Die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus«, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 18 (2010), S. 79–118.
- Ash, Mitchell, »Wissenschaft und Politik. Eine Beziehungsgeschichte im 20. Jahrhundert«, in: *Archiv für Sozialgeschichte* 50 (2010), S. 11–46.
- Assmann, Aleida, »Das Archiv und die neuen Medien des kulturellen Gedächtnisses«, in: Georg Stanitzek, Wilhelm Voßkamp (Hg.), *Schnittstelle. Medien und kulturelle Kommunikation*, Köln: DuMont 2001, S. 268–281.
- Aubin, David, »The memory of life itself: Bénard's cells and the cinematography of self-organization«, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 39/3 (2008), S. 359–369, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2008.06.007>.
- Azoulay, Ariella Aisha, *Potential History: Unlearning Imperialism*, London: Verso 2019.
- Baeumker, Adolf, »Die politischen Ziele der ausländischen Luftfahrt«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1924 (1925), S. 69–83.
- Barad, Karen, *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*, Durham, NC: Duke University Press 2007.
- Bauman, Zygmunt, *Flüchtige Moderne*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2003.
- Bazin, André, »The myth of total cinema«, in: Ders., *What Is Cinema* 2, hg. von Hugh Gray, Berkeley: University of California Press 1967, S. 23–27.
- Beck, John/Ryan Bishop, *Technocrats of the Imagination: Art, Technology, and the Military-Industrial Avant-Garde*, Durham, NC: Duke University Press 2020, <https://doi.org/10.1515/9781478007326>.

- Bénard, Henri, »Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement«, in: *Annales de Chimie et de Physique* 10/1 (1901), S. 254–266, <https://doi.org/10.1051/jphystap:01901000100025400>.
- Bénard, Henri, »Etude cinématographique des remous et des rides produits par la translation d'un obstacle«, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 147 (1908), S. 970–972.
- Bénard, Henri, »Sur les lois de fréquence des tourbillons alternés détachés à l'arrière d'un obstacle mobile«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. 495–501.
- Bergnach, Laurent, »Double Points: OYTIE. chorégraphie d'Emio Greco et Pieter C. Scholten«, in: *Anaclase* 2011, <http://www.anaclase.com/chroniques/double-points>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.
- Bernabei, Maria Ida, »Un oeil nouveau. Le Ralenti scientifique à la construction de l'avantgarde«, in: *Cinéma & Cie* XIX/31 (2018), S. 93–115.
- Bernabei, Maria Ida, »Trois archives: films scientifiques et histoires de décontextualisation«, in: *Museologia & Interdisciplinaridade* 8/15 (2019), S. 49–72, <https://doi.org/10.26512/museologia.v8i15.24666>.
- Bernabei, Maria Ida, *Un'emozione puramente visuale. Film scientifici tra sperimentazione e avanguardia*, Venedig: Lettera Ventidue 2021.
- Bigg, Charlotte/Jessica Reinisch/Geert Somsen/Sven Widmalm, »Introduction. The art of gathering: histories of international scientific conferences«, in: *The British Journal for the History of Science* 56 (2023), S. 423–433, <https://doi.org/10.1017/S0007087423000638>.
- Bloor, David, »Skepticism and the Social Construction of Science and Technology: The Case of the Boundary Layer«, in: Steven Luper (Hg.), *The Skeptics: Contemporary Essays*, Aldershot: Ashgate 2003, S. 249–265.
- Bloor, David, »Sichtbarmachung, Common Sense and Construction in Fluid Mechanics: The Cases of Hele-Shaw and Ludwig Prandtl«, in: *Studies In History and Philosophy of Science Part A* 39/3 (2008), S. 349–358, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2008.06.006>.
- Bloor, David, *The Enigma of the Aerofoil: Rival Theories in Aerodynamics, 1909–1930*, Chicago: University of Chicago Press 2011.
- Blümlinger, Christa, *Kino aus zweiter Hand: Zur Ästhetik materieller Aneignung im Film und in der Medienkunst*, Berlin: Vorwerk 8 2009.
- Böhl, Michael, *Entwicklung des ethnographischen Films: Die filmische Dokumentation als ethnographisches Forschungs- und universitäres Unterrichtsmittel in Europa*, Göttingen: Edition Herodot 1985.
- Bohn, Anna, *Denkmal Film*, Zwei Bände, Berlin: Böhlau 2013.
- Boon, Timothy, *Films of Fact: A History of Science in Documentary Films and Television*, London: Wallflower Press 2008.
- Borgdorff, Henk, »The Mode of Knowledge-Production in Artistic Research«, in: Sabine Gehm, Pirkko Husemann, Katharina von Wilcke (Hg.), *Knowledge in Motion. Perspectives of Artistic Research and Scientific Research in Dance*, Bielefeld: transcript 2007, S. 73–79.

- Borgdorff, Henk, »The Production of Knowledge in Artistic Research«, in: Michael Biggs, Henrik Karlsson (Hg.), *The Routledge Companion to Research in the Arts*, London: Routledge 2011, S. 44–63.
- Botar, Oliver, »László Moholy-Nagy's New Vision and the Aestheticization of Scientific Photography in Weimar Germany«, in: *Science in Context* 17/4 (2004), S. 525–556.
- ter Braak, Menno, »Der absolute Film« [1931], in: Christian Kiening, Heinrich Adolf (Hg.), *Der absolute Film. Dokumente der Medienavantgarde*, Zürich: Chronos 2012, S. 259–292.
- Brase, Jan, »Der Digital Objekt Identifier (DOI)«, in: Heike Neuroth et al. (Hg.), *nestor Handbuch: Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung* (Version 2.3), Boizenburg: Verlag Werner Hülsbusch 2009, Kap. 9:57–9:64.
- Bredenkamp, Horst, »Bildbeschreibungen. Eine Stilgeschichte technischer Bilder?«, in: Ders., Birgit Schneider, Vera Dünkel (Hg.), *Das Technische Bild. Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*, Berlin: Akademie Verlag 2008, S. 36–47.
- Breithaupt, Holger, »Movies for teaching science. The first public database of scientific films and images for educational use went online this year«, in: *EMBO reports* 3/10 (2002), S. 918–920, <https://doi.org/10.1093/embo-reports/kvf207>.
- Bridger, Sarah, *Scientists at War. The Ethics of Cold War Weapons Research*, Cambridge, MA: Harvard University Press 2015.
- Briel, Cornelia/Regine Dehnelt, »Die Einrichtungen der Luftwaffe in Berlin-Gatow 1935–1945«, in: Dies., Jürgen Buby (Hg.), *Kriegswichtig! Die Bücher der Luftkriegsakademie Berlin-Gatow*, Berlin: Verlag kompakt 2015, S. 8–24.
- Broelmann, Jobst, »Meister der Pirouette. Ludwig Prandtl: Wissenschaft und Alltagsphysik«, in: *Kultur & Technik* 25/2 (2001), S. 16–17.
- Brougher, Kerry et al. (Hg.), *Visual Music: Synaesthesia in Art and Music Since 1900*, London: Thames & Hudson 2005.
- Buckland, Michael, *Emanuel Goldberg and His Knowledge Machine: Information, Invention, and Political Forces*, Westport, CT: Libraries Unlimited 2006.
- Budraß, Lutz, »Zwischen Unternehmen und Luftwaffe. Die Luftfahrtforschung im Dritten Reich«, in: Helmut Maier (Hg.), *Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften*, Göttingen: Wallstein 2002, S. 142–182.
- Burström, Nanouschka M., »Things in the Eye of the Beholder: A Humanistic Perspective on Archaeological Object Biographies«, in: *Norwegian Archaeological Review* 49/1 (2014), S. 65–82.
- Cahill, James Leo, *Zoological Realism. The Nonhuman Cinema of Jean Painlevé*, Minneapolis, London: University of Minnesota Press 2019.
- Cain, Victoria, *Schools and Screens. A Watchful History*, Cambridge, MA: MIT Press 2021.
- Campt, Tina, *Image Matters: Archive, Photography, and the African Diaspora in Europe*, Durham, NC: Duke University Press 2012, <https://doi.org/10.1215/9780822394457>.
- Canales, Jimena, *A Tenth of a Second: A History*, Chicago: University of Chicago Press 2009.
- Canales, Jimena, »Desired Machines: Cinema and the World in Its Own Image«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 329–359, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000147>.

- Canales, Jimena, »Dead and Alive: Micro-Cinematography between Physics and Biology«, in: *Configurations* 23/2 (2015), S. 235–251, <http://doi.org/10.1353/con.2015.0008>.
- Carlson, W. Bernard/Michael E. Gorman, »Understanding Invention as a Cognitive Process: The Case of Thomas Edison and Early Motion Pictures, 1888–91«, in: *Social Studies of Science* 20 (1990), S. 387–430.
- Cartwright, Lisa, *Screening the Body. Tracing Medicine's Visual Culture*, Minneapolis: University of Minnesota Press 1995.
- Cartwright, Lisa, »Visual Science Studies: Always Already Materialist«, in: Annamaria Carusi, Aud Sissel Hoel, Timothy Webmoor (Hg.), *Visualisation in the Age of Computerization*, New York, Milton Park: Routledge 2015, S. 243–268.
- Carusi, Annemarie, »Scientific visualisations and aesthetic grounds for trust«, in: *Ethics and Information Technology* 10 (2008), S. 243–254, <https://doi.org/10.1007/s10676-008-9159-5>.
- Casini, Silvia, »A missed encounter between species. The interplay of scientific realism and aesthetics in Painlevé's cinematographic experiments on the octopus«, in: *Studi di estetica* L/IV (2022), S. 127–156.
- CCCB Program, XCÈNTRIC. 11TH SEASON, <http://www.cccb.org/en/activities/file/the-traumatograph-and-other-phantasmagoria/218783>, zuletzt besucht am 11. 12. 2022.
- Ceranski, Beate, »Und sie fürchtet sich vor niemandem.« *Die Physikerin Laura Bassi (1711– 1778)*, Frankfurt a. M.: Campus Verlag 1996.
- Chang, Hasok, »Presentist History for Pluralist Science«, in: *Journal for General Philosophy of Science* 52 (2021), S. 97–114.
- Chomette, Henri, »Seconde Étappe«, in: *Les Cahiers du Mois* 16/17 (1925), S. 86–88.
- Cohen, Emily, »The Orphanista Manifesto: Orphan Films and the Politics of Reproduction«, in: *American Anthropologist* 106 (2004), S. 719–731, <https://doi.org/10.1525/aa.2004.106.4.719>.
- Cohn, Carol, »Sex and Death in the Rational World of Defense Intellectuals«, in: *Signs* 12/4 (1987), S. 687–718.
- Coopmans, Catelijne et al. (Hg.), *Representation in Scientific Practice Revisited*, Cambridge, MA: MIT Press 2014.
- Collins Goodyear, Anne, »From Technophilia to Technophobia: The Impact of the Vietnam War on the Reception of »Art and Technology««, in: *Leonardo* 41/2 (2008), S. 169–173, <https://doi.org/10.1162/leon.2008.41.2.169>.
- Comandon, Jean, »Les possibilités artistiques de la cinématographie«, in: *Schémas* 1 (Feb. 1927).
- Cotter, Lucy, »Reclaiming Artistic Research – First Thoughts ...«, in: *MaHKUscript: Journal of Fine Art Research*, 2/1 (2017), S. 1–6, <https://doi.org/10.5334/mjfar.30>.
- Coy, Salima, »IWF content port« – Wissensmedien per Mausclick«, in: *Jahresbericht IWF Wissen und Medien* (2001), S. 6–7.
- Crouch, Tom D., *Wings. A History of Aviation from Kites to Aerospace*, New York: W. W. Norton & Compton 2003.
- Csiszar, Alex, *The Scientific Journal. Authorship and the Politics of Knowledge in the Nineteenth Century*, Chicago: University of Chicago Press 2018.
- Curtis, Scott, »Images of Efficiency. The Films of Frank B. Gilbreth«, in: Vinzenz Hediger, Patrick

- Vonderau (Hg.), *Films that Work. Industrial Film and the Productivity of Media*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2009, S. 85–99.
- Curtis, Scott, *The Shape of Spectatorship: Art, Science, and Early Cinema in Germany*, New York: Columbia University Press 2015.
- Darrigol, Olivier, *Worlds of Flow: A History of Hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*, Oxford: Oxford University Press 2005.
- Daston, Lorraine, *Biographies of Scientific Objects*, Chicago: University of Chicago Press 2000.
- Daston, Lorraine/Katherine Park, »Introduction. At the Limit«, in: Dies. (Hg.), *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*, New York: Zone Books 1998, S. 13–20.
- Daston, Lorraine/Peter Galison, *Objektivität*, übersetzt aus dem Amerikanischen von Christa Krüger, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2007.
- Delahaye, Lydie, »Les Formes du vivant«, in: *Images Revues* 19 (2021), S. 1–14, <https://doi.org/10.4000/imagesrevues.10329>.
- van Delft, Dirk, »Eerlijke beeldtaal: experimentele filmer Joost Rekvelde wil kruisbestuiving tussen kunst en wetenschap«, in: *NRC Handelsblad*, 11. 11. 2004.
- Delpeut, Peter, »Bits & Pieces – De Grenzen van het Filmarchief«, in: *Versus* 2 (1990), S. 75–84.
- Didi-Huberman, Georges/Laurent Mannoni, *Mouvements de l'air: Etienne-Jules Marey, photographe des fluides*, Paris: Gallimard 2004.
- Didi-Huberman, Georges, *Das Nachleben der Bilder: Kunstgeschichte und Phantomzeit nach Aby Warburg*, Berlin: Suhrkamp 2010.
- Diederichsen, Diedrich, »Die Politik der Aufmerksamkeit. Visual Culture, Netzkunst und die Unterscheidung von Kunst und Nicht-Kunst«, in: Tom Holert (Hg.), *Imagineering. Visuelle Kultur und Politik der Sichtbarkeit*, Köln: Oktagon 2000, S. 70–84.
- Dijksterhuis, Edo, »Joost Rekvelde presenteert 4D. Utopie van licht«, in: *filmkrant* (Sept. 2004), S. 258.
- Directorate of Printing, Government of India, »Particulars of Films Certified by the Central Board of Film Censors during the week ending 12-3-1977«, in: *Gazette of India* 341 (1978), S. 671.
- Doane, Janice/Devon Hodges, »Writing from the Trenches: Women's Work and Collaborative Writing«, in: *Tulsa Studies in Women's Literature* 14/1 (1995), S. 51–57, <https://doi.org/10.2307/464246>.
- DOI Foundation, *The DOI Handbook*, ohne Ort: DOI Foundation 2023, S. 42, https://www.doi.org/doi-handbook/DOI_Handbook_Final.pdf, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Dommann, Monika, *Materialfluss. Zur Geschichte der Logistik an den Orten ihres Stillstands*, Frankfurt a. M.: Fischer 2023.
- Downey, Walker, »Rebooting the Art-and-Technology Movement: A Review of W. Patrick McCray's *Making Art Work: How Cold War Engineers and Artists Forged a New Creative Culture*«, in: *Interdisciplinary Science Reviews* 46/4 (2021), S. 716–734, <https://doi.org/10.1080/03080188.2021.1885863>.
- Dreckmann, Kathrin/Verena Meis (Hg.), *Fluide Mediale: Medialität, Materialität und Medienästhetik des Fluiden*, Berlin, Boston: De Gruyter 2023.
- Drucker, Johanna, *Visualization and Interpretation. Humanistic Approaches to Display*, Cambridge, MA: MIT Press 2020.

- Druick, Zoë, »UNESCO, Film, and Education: Mediating Postwar Paradigms of Communication«, in: Charles Acland, Haidee Wasson (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 81–102.
- Duden, Barbara/Ivan Illich, »Die skopische Vergangenheit Europas und die Ethik der Opsis: Plädoyer für eine Geschichte des Blickes und Blickens«, in: *Historische Anthropologie* 3/2 (1995), S. 203–221.
- Dünkel, Vera, »Vergleich als Methode«, in: Horst Bredekamp, Birgit Schneider, Vera Dünkel (Hg.), *Das Technische Bild. Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*, Berlin: Akademie Verlag 2008, S. 24–28.
- Dulac, Germaine, »L'essence du cinéma. L'idée visuelle« [1925], in: Christian Kiening, Heinrich Adolf (Hg.), *Der absolute Film. Dokumente der Medienavantgarde*, Zürich: Chronos 2012, S. 191–196.
- Dulac, Germaine, »Le cinéma d'avantgarde« [1932], in: Prosper Hillairet (Hg.), *Écrits sur le cinéma, 1919–1937*, Paris: Paris Expérimental 1994, S. 182–190.
- van Dyke, Milton, *An Album of Fluid Motion*, Stanford: Parabolic Press 1982.
- Eckert, Michael, »Der Prandtlsche Wasser-Versuchskanal«, in: Ulf Hashagen, Oskar Blumtritt, Helmuth Trischler (Hg.), *Circa 1903. Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums*, München: Deutsches Museum 2003, S. 155–177.
- Eckert, Michael, »Strategic Internationalism and the Transfer of Technical Knowledge: The United States, Germany, and Aerodynamics after World War I«, in: *Technology and Culture* 46/1 (2005), S. 104–131.
- Eckert, Michael, *The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline between Science and Technology*, Weinheim: Wiley-VCH 2006.
- Eckert, Michael, »Die Deutsche Physikalische Gesellschaft und die »Deutsche Physik««, in: Dieter Hoffmann, Mark Walker (Hg.), *Physiker zwischen Autonomie und Anpassung*, Weinheim: Wiley-VCH 2006, S. 139–172.
- Eckert, Michael, »Wie entstehen Wirbel? Strömungsforscher im Streit um Theorie und Wirklichkeit«, in: *Kultur & Technik* 2 (2006), S. 48–54.
- Eckert, Michael, *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- Eckert, Michael, *The Turbulence Problem: A Persistent Riddle in Historical Perspective*, Cham: Springer 2019.
- Edwards, Elizabeth, »Der Geschichte ins Antlitz blicken: Fotografie und die Herausforderung der Präsenz«, in: Herta Wolf (Hg.), *Zeigen und/oder Beweisen? Die Fotografie als Kulturtechnik und Medium des Wissens*, Berlin, Boston: De Gruyter 2016, S. 305–326.
- Eichner-Ramm, Britta, »Historische Filme von Wirbeln und Strömungen«, in: *Göttinger Tageblatt*, 2. 10. 2009, S. 11.
- Elsaesser, Thomas/Christa Blümlinger, »Filme Kinos Geschichten Archive Forschungen. Ein Gespräch zwischen Thomas Elsaesser und Christa Blümlinger«, in: *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 8/4 (1997), S. 567–587.
- Epple, Moritz, »Rechnen, Messen, Führen. Kriegsforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für

- Strömungsforschung«, in: Helmut Maier (Hg.), *Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften*, Göttingen: Wallstein 2002, S. 305–356.
- Epple, Moritz/Florian Schmaltz, »Göttingen. Das Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation«, in: Peter Gruß, Reinhard Rürup (Hg.), *Denkorte. Max-Planck-Gesellschaft und Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Brüche, Kontinuitäten, Erinnerungen 1911–2011*, Dresden: Sandstein 2010, S. 152–163.
- Etzemüller, Thomas, »It's the performance, stupid«. Performanz → Evidenz: Der Auftritt in der Wissenschaft«, in: Ders. (Hg.), *Der Auftritt. Performanz in der Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2019, S. 9–44.
- Evers, Frans, *The Academy of the Senses*, Den Haag: ArtScience Interfaculty Press 2012.
- Ewert, Malte, *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)*, Hamburg: Verlag Dr. Kovač 1998, S. 401–410.
- Ewert, Malte, *Ein deutscher Offizier. Kriegserinnerungen 1940–1945 aus der Sicht des Bataillons-, Regiments- und Divisionskommandeurs Generalmajor Wolf Ewert*, ohne Ort im Selbstverlag: Education & Art Publ. 2012.
- Fenske, Michaela/Regina Bendix, »Hinter verschlossenen Türen. Akteure und Praxen der Wissensaushandlung am Beispiel des »Handwörterbuchs der Sage««, in: *Berliner Blätter. Volkskundliches Wissen. Akteure und Praktiken* 50 (2009), S. 27–48.
- Fermigier, Marc, »The use of images in fluid mechanics«, in: *Comptes Rendus Mécanique* 345/9 (2017), S. 595–604, <https://doi.org/10.1016/j.crme.2017.05.015>.
- Fernando, Tamara/Felice Physioc/Alexis Rider, »Flows of History«, in: *Past & Present* 260/1 (2023), S. 1–31, <https://doi.org/10.1093/pastj/gtad004>.
- Fischer, Hans, *Völkerkunde im Nationalsozialismus. Aspekte der Anpassung, Affinität und Behauptung einer wissenschaftlichen Disziplin*, Berlin: Dietrich Reimer 1990.
- Flach, Sabine, »Expanded Vision. Die Avantgarde als Laboratorium der Wahrnehmung«, in: Sabine Flach, Margarete Vöhringer (Hg.), *Ultravision: Zum Wissenschaftsverständnis der Avantgarde*, München: Fink 2010, S. 185–210.
- Flachowsky, Sören/Rüdiger Hachtmann/Florian Schmaltz (Hg.), *Ressourcenmobilisierung. Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem*, Göttingen: Wallstein 2016.
- Fladrich, Curt, »Die technische Herstellung des Unterrichtsfilms 2. Teil«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 1 (Aug. 1935), S. 88–92.
- Fladrich, Curt, »Die technische Herstellung eines Unterrichtsfilms 4. Teil«, in: *Film und Bild in Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung. Zeitschrift der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm* 1 (Okt. 1935), S. 121–128.
- Fleck, Ludwik, »Über die wissenschaftliche Beobachtung und die Wahrnehmung im Allgemeinen« [1935], übersetzt aus dem Polnischen von Bogusław Wolniewicz, Thomas Schnelle, in: Ders., *Denkstile und Tatsachen. Gesammelte Schriften und Zeugnisse*, hg. von Sylwia Werner, Claus Zittel, Berlin: Suhrkamp 2011, S. 211–238.

- Flückiger, Barbara/Noemi Daugaard/Olivia Kristina Stutz, »Shattered provenance in the digitization of early color Films«, in: Joanne Bernardi et al. (Hg.), *Provenance and early cinema*, Bloomington: Indiana University Press 2021, S. 80–90.
- Forman, Paul, »Scientific Internationalism and the Weimar Physicists: The Ideology and Its Manipulation in Germany after World War I«, in: *Isis* 64/2 (1973), S. 150–180.
- Fossati, Giovanna, *From Grain to Pixel: The Archival Life of Film in Transition*. Amsterdam: Amsterdam University Press 2018.
- Fox Keller, Evelyn, *Secrets of Life, Secrets of Death: Essays on Language, Gender and Science*, New York: Routledge 1992.
- Frayling, Christopher, *Mad, Bad and Dangerous. The Scientist and the Cinema*, London: Reaktion Books 2002.
- Frick, Caroline, *Saving Cinema: The Politics of Preservation*. New York: Oxford University Press 2011.
- Friesen, Dwight, »Biographical Approaches to Jesus Films: Prospects for Bible and Film«, in: Richard Walsh (Hg.), *T&T Clark Companion to the Bible and Film*, London: T&T Clark 2018, S. 104–114.
- von Frisch, Karl, *Du und das Leben. Eine moderne Biologie für Jedermann*, Berlin: Am Deutschen Verlag 1936.
- von Frisch, Karl, *Erinnerungen eines Biologen*, Berlin, u. a.: Springer Verlag 1973 [1957].
- Fröhlich, Roman, »Der Häftlingseinsatz wurde befohlen.« *Handlungsspielräume beim Einsatz von Häftlingen des KZ Sachsenhausens im Heinkel-Flugzeugwerk Oranienburg*, Berlin: Metropol Verlag 2018.
- Fujiwara, Sakuhei, »An Experiment on the Behaviour of Two Vortices in Water«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. 506.
- Galison, Peter, *Image and Logic: A Material Culture of Physics*, Chicago, London: University of Chicago Press 1997.
- Galison, Peter, »Visual STS«, in: Annamaria Carusi et al. (Hg.), *Visualization in the Age of Computerization*, New York: Routledge 2014, S. 197–225.
- Gänger, Stefanie, »Circulation. Reflections on Circularity, Entity, and Liquidity in the Language of Global History«, in: *Journal of Global History* 12 (2017), S. 303–318.
- Garandeau, Eric/Béatrice de Pastre, Thierry Lefebvre, *Filmer la science, comprendre la vie: le cinéma de Jean Comandon*, Paris: CNC Centre national de la cinématographie 2012.
- Gaycken, Oliver, »Beauty of Chance: Film ist«, in: *Journal of Visual Culture* 11/3 (2013), S. 307–327.
- Gaycken, Oliver, *Devices of Curiosity. Early Cinema and Popular Science*, Oxford, New York: Oxford University Press 2015.
- Gaycken, Oliver, »Film ist. (1–6): An Exemplary Use of the Encyclopaedia Cinematographica«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 370–378.
- Geimer, Peter, »Vom Schein, der übrig bleibt. Bildevidenz und ihre Kritik«, in: Helmut Lethen, Ludwig Jäger, Albrecht Koschorke (Hg.), *Auf die Wirklichkeit zeigen. Zum Problem der Evidenz in den Kulturwissenschaften*, Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag 2015, S. 181–218.
- Georgi, Johannes, »Professor Dr. Fritz Ahlborn, ein vergessener Pionier der Strömungsforschung«, in: *Abhandlungen und Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg* 11 (1957), S. 5–18.

- Gertiser, Anita/Angela Hauser/John Wäfler (Hg.), *Der Film geht in die Schule: 100 Jahre Schweizer Schul- und Volkskino*, München: Kopaed 2021.
- Gharib, Morteza et al., »Leonardo's vision of flow visualization«, in: *Experiments in Fluids* 33, S. 219–223 (2002), <https://doi.org/10.1007/s00348-002-0478-8>.
- Goldfarb, Brian, *Visual Pedagogy. Media Cultures in and beyond the Classroom*, Durham, NC, London: Duke University Press 2002.
- Goldstein, Sydney, »Fluid Mechanics in the First Half of This Century«, in: *Annual Review of Fluid Mechanics* 1 (1969), S. 1–28.
- Gordin, Michael, *Scientific Babel. How Science Was Done Before and After Global English*, Chicago: University of Chicago Press 2014.
- Gordin, Michael, »Book Review: The Tory Interpretation of History«, in: *Historical Studies in the Natural Sciences* 44/4 (2014), S. 413–423, <https://doi.org/10.1525/hsns.2014.44.4.413>.
- Görtler, Henry/Walter Tollmien (Hg.), *Fünfzig Jahre Grenzschichtforschung*. Braunschweig: Vieweg 1955.
- Gouyon, Jean-Baptiste, »Science and film-making«, in: *Public Understanding of Science* 25/1 (2016), S. 17–30, <https://doi.org/10.1177/0963662515593841>.
- Graf, Ludwig, »Entwicklung, Funktion, Präsentationsformen und Texttypen der Telekolleg- oder Akademie-Sendungen«, in: Joachim-Felix Leonhard et al. (Hg.), *Medienwissenschaft*, 3. Teilband: *Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen*, Berlin, Boston: De Gruyter Mouton 2002, S. 2369–2383, <https://doi.org/10.1515/9783110166767.3.52.2369>.
- Gramelsberger, Gabriele/Alexander Friedrich/Sarine Waltenspül, »Wissenschaftslabore als artifizielle Zeitkonfigurationsräume. Techniken der Dehnung, Transformation und Aufhebung von Zeit«, in: *Jahrbuch für Technikphilosophie* 7 (2021), S. 163–193.
- Grift, E. J./M. J. Tummers/J. Westerweel, »Hydrodynamics of rowing propulsion«, in: *Journal of Fluid Mechanics* 918/A29 (2021), <https://doi.org/10.1017/jfm.2021.318>.
- Große, Werner, *Filme für die Wissenschaft – Die Epoche des Wissenschaftlichen Films in Göttingen*, Göttingen: Buchverlag Göttinger Tageblatt 2012.
- Grunsky-Peper, Konrad, *Deutsche Volkskunde im Film. Gesellschaftliche Leitbilder im Unterrichtsfilm des Dritten Reichs*, München: Minerva Publikation 1979.
- Gumbrecht, Hans Ulrich, *Unsere breite Gegenwart*, Berlin: Suhrkamp 2010.
- Gunning, Tom, »The Cinema of Attraction[s]: Early Film, Its Spectator and the Avant-Garde« in: Wanda Strauven (Hg.), *The Cinema of Attractions Reloaded*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2006 [1986], S. 381–388.
- Hacking, Ian, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge: Cambridge University Press 1983, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511814563>.
- Hacking, Ian, *Why Is There Philosophy of Mathematics at All?*, Cambridge: Cambridge University Press 2014.
- Hagener, Malte, »Programming Attractions: Avantgarde Exhibition Practice in the 1920s and 1930s«, in: Wanda Strauven (Hg.), *The Cinema of Attractions Reloaded*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2006, S. 265–279.

- Hagner, Michael/Claudio Pogliano/Renato Mazzolini (Hg.), »Biographies of Scientific Images«, Special Issue, in: *Nuncius. Journal of the History of Science* 24/2 (2009).
- Hahn, Hans Peter/Hadas Weis, »Introduction: Biographies, travels and itineraries of things«, in: Dies. (Hg.), *Mobility, meaning and transformations of things: shifting contexts of material culture through time and space*, Oxford: Oxbow Books 2013, S. 1–14.
- Hakala, Juha, *Persistent Identifiers: An Overview* (2010), <http://www.persid.org/downloads/PI-intro-2010-09-22.pdf>, zuletzt besucht am 7. 3. 2024.
- Hall, A. F./Oliver Bell/Margaret C. Simpson, »Interim Report on the German Educational Films Now in This Country«, in: Malte Ewert, *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)*, Hamburg: Verlag Dr. Kovač 1998, S. 401–410.
- Happé, L. B., »The Silent Educational Single-Concept Film«, in: *Journal of the University Film Producers Association* 17/2 (1965), S. 3–7.
- Haraway, Donna, »Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective«, in: *Feminist Studies* 14/3 (1988), S. 575–599.
- von Harnack, Adolf/Friedrich Glum, »Tätigkeitsbericht der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften für das Halbjahr vom 1. Oktober 1926 bis Ende März 1927«, in: *Die Naturwissenschaften* 15 (1927), S. 649–653.
- von Harnack, Adolf/Friedrich Glum, »Tätigkeitsbericht der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (April 1927 bis März 1928)«, in: *Die Naturwissenschaften* 16 (1928), S. 427–432, <https://doi.org/10.1007/BFo1459033>.
- Hediger, Vinzenz, »Dann sind Bilder also nichts!«. Vorüberlegungen zur Konstitution des Forschungsfelds ›Gebrauchsfilm‹. in: *montage AV. Zeitschrift für Theorie und Geschichte audiovisueller Kommunikation* 14/2 (2005), S. 11–22, <https://doi.org/10.25969/mediarep/220>.
- te Heesen, Anke, »The way of the Scientist«, Ikonografie der Unmittelbarkeit«, in: Christian Vogel, Sonja Nökel (Hg.), *Gesichter der Wissenschaft*, Göttingen: Wallstein 2019, S. 161–177.
- Heinemann, Manfred, »Überwachung und ›Inventur‹ der deutschen Forschung. Das Kontrollratsgesetz Nr. 25 und die alliierte Forschungskontrolle im Bereich der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft (KWG/MPG) 1945–1955«, in: Lothar Mertens (Hg.), *Politischer Systemumbruch als irreversibler Faktor von Modernisierung in der Wissenschaft?*, Berlin: Duncker & Humblot 2001, S. 167–199.
- Heinrich, Ari Larissa, *The Afterlife of Images: Translating the Pathological Body between China and the West*, Durham, NC: Duke University Press 2008.
- Hele-Shaw, Henry, »The Flow of Water«, in: *Nature* 58 (1898), S. 34–36, <https://doi.org/10.1038/058034a0>.
- Hele-Shaw, Henry, »The motion of a perfect liquid«, in: *Nature* 60 (1899), S. 446–451.
- Helmreich, Stefan, *A Book of Waves*, Durham, NC: Duke University Press 2023.
- Henning, Eckart/Marion Kazemi, *Handbuch zur Institutsgeschichte der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften 1911–2011: Daten und Quellen* 11/1, Berlin: Max-Planck-Gesellschaft 2016.
- Hentschel, Klaus (Hg.), *Physics and National Socialism*, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag 1996.

- Hentschel, Klaus, »Introduction«, in: Ders. (Hg.), *Physics and National Socialism*, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag 1996, S. xvi–ci.
- Hentschel, Klaus, *Visual Cultures in Science and Technology*, Oxford: Oxford University Press 2014.
- Hentschel, Klaus, »Hermann Böhme«, in: *Database of Scientific Illustrators*, https://dsi.hi.uni-stuttgart.de/index.php?tablename=dsi&function=details&where_field=id&where_value=13456, zuletzt besucht am 3. 5. 2025.
- Herbert, Ulrich, *Wer waren die Nationalsozialisten?* München: C. H. Beck 2021.
- Herding, Klaus, »Rezension zu Peter Reichel, *Der schöne Schein des Dritten Reiches. Faszination und Gewalt des Faschismus*«, München: Hanser-Verlag 1991«, in: *Kritische Berichte* 19/3 (1991), S. 80–86.
- Heßler, Martina, »II. Interpretationen«, in: Ralf Adelmann et al. (Hg.), *Datenbilder: Zur digitalen Bildpraxis in den Naturwissenschaften*, Bielefeld: transcript 2009, S. 133–161.
- Heumann, Ina, *Gegenstücke. Populäres Wissen im transatlantischen Vergleich (1948–1984)*, Wien, u. a.: Böhlau Verlag 2014.
- Hickethier, Knut, »Zur Tradition schulischer Beschäftigung mit den Massenmedien. Ein Abriß der Geschichte deutscher Medienpädagogik«, in: Reent Schwarz (Hg.), *Manipulation durch Massenmedien, Aufklärung durch Schule? Eine Bestandaufnahme*, Stuttgart: Metzler 1974, S. 21–52.
- Hiemenz, Karl, *Die Grenzschicht an einem in den gleichförmigen Flüssigkeitsstrom eingetauchten geraden Kreiszylinder*, Dissertationsschrift, Berlin 1911.
- Higdon, David Leon, *Wandering into Brave New World*, Amsterdam: Rodop 2013.
- Hilmes, Michele, *Only Connect: A Cultural History of Broadcasting in the United States*, Belmont: Wadsworth 2014.
- Hirsch, Klaus/Jürgen Kompenhans, »25 Years of Particle Image Velocimetry in Aerodynamics«, Cfp, https://velocimetry.net/downloads/Symposium_25_years_piv_in_aerodynamics.pdf, zuletzt besucht am 22. 3. 2024.
- Hinterwaldner, Inge, *Das systemische Bild: Ikonizität im Rahmen computerbasierter Echtzeitsimulationen*, München: Fink 2010.
- Hinterwaldner, Inge, »Parallel Lines as Tools for Making Turbulence Visible«, in: *Representations* 124/1 (2013), S. 1–42, <https://doi.org/10.1525/rep.2013.124.1.1>.
- Hinterwaldner, Inge, »Lehren und die daraus gezogenen Linien«, in: Philipp Stoellger, Marco Gutjahr (Hg.), *Visuelles Wissen. Ikonische Prägnanz und Deutungsmacht*, Würzburg: Königshausen & Neumann 2014, S. 247–279.
- Hinterwaldner, Inge, »Model building with wind and water: Friedrich Ahlborn's photo-optical flow analysis«, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 49 (2015), S. 1–17, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2014.10.003>.
- Hobuß, Steffi, »Mythos ›Stunde Null‹«, in: Torben Fischer, Matthias N. Lorenz (Hg.), *Lexikon der ›Vergangenheitsbewältigung‹ in Deutschland. Debatten- und Diskursgeschichte des Nationalsozialismus nach 1945*, Bielefeld: transcript 2015, S. 44–45.
- Hoffmann, Christoph, *Unter Beobachtung. Naturforschung im Zeitalter der Sinnesapparate*, Göttingen: Wallstein 2006.
- Hoffmann, Christoph, »Superpositions: Ludwig Mach and Étienne-Jules Marey's studies in

- streamline photography«, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 44/1 (2013), S. 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2012.08.002>.
- Hoffmann, Christoph, »Bildmaterial: Bearbeiten, Auswerten, Verbrauchen«, in: Inge Hinterwaldner (Hg.), *Einwegbilder*, Leiden: Wilhelm Fink 2016, S. 155–174.
- Hoffman, Johan/Johan Jansson/Claes Johnson, »New Theory of Flight«, in: *Journal of Mathematical Fluid Mechanics* 18 (2016), S. 219–241, <https://doi.org/10.1007/s00021-015-0220-y>.
- Hoffmann, Stefan-Ludwig, »Gazing at Ruins«, in: *Journal of Modern European History* 9/3 (2011), S. 328–350.
- Holert, Tom, »Künstlerische Forschung. Anatomie einer Konjunktur«, in: *Texte zur Kunst* 82 (2011), S. 38–63.
- Holl, Ute/Stefanie Schulte Strathaus, »Persephone und Sisypheos im Archiv«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7/2 (2012), S. 143–150, <https://doi.org/10.25969/mediarep/603>.
- Holtorf, Cornelius, »The life-history approach to monuments: an obituary?«, in: Joakim Goldhahn (Hg.), *Gropar & monument. En vänbok till Dag Widholm*, Kalmar: Högskolan i Kalmar 2008, S. 411–427.
- Hoskins, Janet, »Agency, Biography and Objects«, in: Christopher Tilley et al. (Hg.), *Handbook of Material Culture*, London: Sage 2006, S. 74–84.
- Ica (Hg.), *Ica Cameras und Zubehör*, Dresden: Verlag der Ica 1925.
- Imai, Yasuo, »Ding und Medium in der Filmpädagogik unter dem Nationalsozialismus«, in: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 16 (2013), S. 229–251.
- Ingravalle, Grazia, »Allegories of the past: nitrate film's aura in postindustrial Rochester, NY.«, in: *Screen* 60/3 (2019), S. 371–387, <https://doi.org/10.1093/screen/hjz021>.
- Intrator, Miriam, *Books Across Borders: UNESCO and the Politics of Postwar Cultural Reconstruction, 1945–1951*, Cham: Palgrave Macmillan 2019.
- Jäger, Ludwig, »Die Evidenz des Bildes. Einige Anmerkungen zu den semiologischen und epistemologischen Voraussetzungen der Bildsemantik«, in: Enno Rudolph, Thomas Steinfeld (Hg.), *Machtwechsel der Bilder. Bild und Bildverstehen im Wandel*, Zürich: Orell Füssli 2012, S. 95–125.
- Jakab, Peter L., *Visions of a Flying Machine: The Wright Brothers and the Process of Invention*, Washington, DC: Smithsonian Books 1990.
- Jenkins, Reese, »Elements of Style: Continuities in Edison's Thinking«, in: *Annals of the New York Academy of Sciences* 424 (1984), S. 149–162, <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb23499.x>.
- Johnson, Claes, »Flying Impossible with Prandtl No-Slip Flow Separation«, Blogbeitrag in: *CJ on Mathematics and Science*, <https://claesjohnson.blogspot.com/2019/11/flying-impossible-with-prandtl-no-slip.html>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Jones, Janna, *The Past Is a Moving Picture: Preserving the Twentieth Century on Film*. Gainesville: University Press of Florida 2012.
- Jue, Melody, *Wild Blue Media: Thinking through Seawater*, Durham, NC: Duke University Press 2020, <https://doi.org/10.2307/j.ctv11g97ph>.
- Keefer, Cindy (Hg.), *Oskar Fischinger, 1900–1967: Experiments in Cinematic Abstraction*, Amsterdam: Eye Filmmuseum 2013.

- von Keitz, Ursula, »Die Kinematographie in der Schule. Zur politischen Pädagogik des Unterrichtsfilms von RfDU und RWU« in: Peter Zimmermann, Kay Hoffmann (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in Deutschland. Bd. 3 ›Drittes Reich‹ 1933–1945*, Stuttgart: Philipp Reclam jun. 2005, S. 463–488.
- Klee, Ernst, *Das Personenlexikon zum Deutschen Reich. Wer war was vor und nach 1945*, Frankfurt a. M.: Fischer 2015 [2003].
- Knorr Cetina, Karin, »Viskurse« in der Physik. Wie visuelle Darstellungen ein Wissenschaftsgebiet ordnen«, in: Jörg Huber, Martin Heller (Hg.), *Konstruktionen Sichtbarkeit*, Wien, New York: Edition Volmeer/Springer 1999, S. 245–261.
- König, Helmut, *Die Zukunft der Vergangenheit. Der Nationalsozialismus im politischen Bewusstsein der Bundesrepublik*, Frankfurt a. M.: Fischer 2014 [2003].
- Koepnick, Lutz P., »Fascist Aesthetics Revisited«, in: *Modernism/modernity* 6/1 (1999), S. 51–73.
- Koppe, Egbert, »Für die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gerüstet: Einweihung der Neubauten für das Filmarchiv in Hoppegarten«, in: *Mitteilungen aus dem Bundesarchiv* 2 (2005), S. 2–6.
- Kopytoff, Igor, »The Cultural Biography of Things: Commoditization as Process«, in: Arjun Appadurai (Hg.), *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press 1986, S. 64–91.
- Koselleck, Reinhart, »Einführung«, in: Hayden White, *Auch Klio dichtet oder die Fiktion des Faktischen*, Stuttgart: Klett-Cotta 1986, S. 1–6.
- Kracauer, Siegfried, »Totalitäre Propaganda« [entstanden 1936–38], in: Ders., *Totalitäre Propaganda*, hg. von Bernd Stiegler, Berlin: Suhrkamp 2013, S. 11–158.
- Kracauer, Siegfried, »Das Ornament der Masse«, in: Ders., *Das Ornament der Masse*, Berlin: Suhrkamp 2017 [1927], S. 50–63.
- Krautkrämer, Florian, »Sylvie Lindeperg: »Nacht und Nebel«. Ein Film in der Geschichte«, in: *MEDIENwissenschaft: Rezensionen | Reviews* 28/3 (2011), S. 357–361, <https://doi.org/10.17192/ep2011.3.209>.
- Krieck, Ernst, *Nationalpolitische Erziehung*, Leipzig: Armanen-Verlag 1937.
- Krige, John, »Book Review: David Pretel and Lino Camprubí, eds. Technology and Globalisation: Networks of Experts in World History«, in: *HoST – Journal of History of Science and Technology* 14/2 (2020), S. 115–119, <https://doi.org/10.2478/host-2020-0018>.
- Krige, John (Hg.), *Knowledge Flows in a Global Age: A Transnational Approach*, Chicago: University of Chicago Press 2022, <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226820378-001>.
- Krige, John, »Introduction: Writing the Transnational History of Knowledge Flows in a Global Age«, in: Ders. (Hg.), *Knowledge Flows in a Global Age: A Transnational Approach*, Chicago: University of Chicago Press 2022, S. 1–30, <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226820378-001>.
- Krüger, Klaus, »Das Bild als Palimpsest«, in: Hans Belting (Hg.), *Bilderfragen: Die Bildwissenschaft ten im Aufbruch*, München: Fink 2007, S. 133–163.
- Krupp, Gustav, »Luftfahrt-Wissenschaft und Praxis«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 16/17–18 (1925), S. 326–368.

- Kühn, Michael, *Unterrichtsfilm im Nationalsozialismus. Die Arbeit der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm/Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*, Mammendorf: septem artes Verlag 1998.
- Kühlbrodt, Dietrich, »Prima Klima. Dauerfaszinosum Nazi-Moderne: Zwei frisch gebackene Medienpädagogen schwärmen für Altbackenes«, in: *jungle.world*, 20. 5. 1998.
- Kuster, Brigitta/Britta Lange/Petra Löffler, »Archive der Zukunft? Ein Gespräch über Sammlungs- politiken, koloniale Archive und die Dekolonisierung des Wissens«, in: *Zeitschrift für Medien- wissenschaft* 11/20 (2019), S. 96–111, <https://doi.org/10.25969/mediarep/3726>.
- Lamb, Horace, *Hydrodynamics*, Cambridge: At the University Press 1932 [1892].
- Lameris, Bregt, *Film Museum Practice and Film Historiography: The Case of the Nederlands Filmmu- seum (1946–2000)*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2017.
- Landecker, Hannah, »Microcinematography and the History of Science and Film«, in: *Isis* 97:1 (2006), S. 121–132.
- Landecker, Hannah, »Creeping, Drinking, Dying: The Cinematic Portal and the Microscopic World of the Twentieth-Century Cell«, in: *Science in Context* 24 (2011), S. 381–416, <https://doi.org/10.1017/S0269889711000160>.
- Lash, Scott/Celia Lury, *Global Culture Industry: The Mediation of Things*, Cambridge: Polity 2007.
- Latour, Bruno, »Visualisation and Cognition: Drawing Things Together«, in: *Knowledge and Society. Studies in the Sociology of Culture Past and Present* 6 (1986), S. 1–40.
- Latour, Bruno, »For David Bloor ... and beyond: a reply to David Bloor's Anti-Latour«, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 30/1 (1999), S. 113–129, [https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(98)00039-9).
- Laukötter, Anja, *Sex – richtig! Körperpolitik und Gefühlserziehung im Kino des 20. Jahrhunderts*, Göttingen: Wallstein 2021.
- Law, John, *Aircraft Stories. Decentering the Object in Technoscience*, Durham, NC, London: Duke University Press 2002.
- Lefebvre, Thierry, *La Chair et le celluloïd: le cinéma chirurgical du docteur Doyen*, Paris: Jean Doyen 2004.
- Lenhart, Markus Helmut/Birgit Scholz, *NS-Provenienzforschung an der Institutsbibliothek Zoologie der Karl-Franzens-Universität Graz*, Arbeitsbericht Projekt: Provenienzforschung an der UBG II, Graz 2014, <https://unipub.uni-graz.at/download/pdf/2517166>, zuletzt besucht am 18. 4. 2025.
- Le Rond d'Alembert, Jean, *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides*, Paris: David 1752.
- Leslie, Stuart W., *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*, New York: Columbia University Press 1993.
- Lighthill, James, »Fluid mechanics«, in: Laurie M. Brown, Abraham Pais, Brian Pippard (Hg.), *Twentieth Century Physics*, Philadelphia: American Institute of Physics Press 1995, S. 795–912.
- Lindeperg, Sylvie, »Nacht und Nebel«. *Ein Film in der Geschichte*, übersetzt aus dem Französischen von Stefan Barmann, Berlin: Vorwerk 8 2010.
- Liesegang, Franz Paul, *Handbuch der praktischen Kinematographie*, Leipzig: Ed. Liesegang's Verlag 1911.

- London Film Society, *The Film Society programmes 1925–1939*, New York: Arno Press 1972.
- Long, Max, *A Science for Everyday Life: mass media and natural history in early-twentieth century Britain*, im Erscheinen.
- Lösel, Gunter, »Tags and tracks and annotations: Research Video as a new form of publication of embodied knowledge«, in: *International Journal of Performance Arts and Digital Media* 17/1 (2021), S. 1–15.
- Lubar, Steven, »Culture and Technological Design in the 19th-Century Pin Industry: John Howe and the Howe Manufacturing Company«, in: *Technology and Culture* 28/2 (1987), S. 253–282.
- Lubar, Steven, »Representation and Power«, in: *Technology and Culture* 36/2 (1995), S. 54–81, <https://doi.org/10.2307/3106690>.
- Ludwig, Karl Heinz, *Technik und Ingenieure im Dritten Reich*, Düsseldorf: Athenäum-Droste-Taschenbücher 1974.
- Lynch, Michael/Steve Woolgar, »Introduction: Sociological orientations to representational practice in science«, in: Dies. (Hg.), *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, MA: MIT Press 1988, S. 1–18.
- MacDonald, Scott, *Avant-Doc. Intersections of Documentary and Avant-Garde Cinema*, Oxford, New York: Oxford University Press 2015.
- Manovich, Lev, »Abstraction and Complexity«, in: Künstlerhaus Wien, Sandro Droschl, Norbert Pfaffenbichler (Hg.), *Abstraction Now*, Wien: Edition Camera Austria 2004, S. 80–85.
- Marey, Etienne-Jules, »Le mouvement des liquides étudié par la chronophotographie«, in: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* 116 (1893), S. 913–924.
- Markert, Michael, »Konzept I – Performanz von Lehre. Die Vorlesung als Theater«, Blogeintrag in: *Schattenprojektionen*, 7. 5. 2020, <https://schattenprojektionen.uni-goettingen.de/annaeherung-i#main>, zuletzt besucht am 14. 2. 2025.
- Markert, Michael, *Schattenprojektionen*, Blog des Forschungsprojektes »Projektionen. Die Lehrsammlung Robert Wichard Pohl«, <https://schattenprojektionen.uni-goettingen.de/>, zuletzt besucht am 14. 2. 2025.
- Mauer, Barry/David Morton, »A Trip Down Market Street: A Century of ›Eureka‹ Moments«, in: *Historical Journal of Film, Radio and Television* 43/1 (2022), S. 1–19, <https://doi.org/10.1080/01439685.2022.2096795>.
- McCray, Patrick, *Making Art Work: How Cold War Engineers and Artists Forged a New Creative Culture*, Cambridge, MA: MIT Press 2020.
- Mehrtens, Herbert, »Kollaborationsverhältnisse. Natur und Technikwissenschaften im NS-Staat und ihre Historie«, in: Christoph Meinel, Peter Voswinckel (Hg.), *Medizin, Naturwissenschaft, Technik und Nationalsozialismus. Kontinuitäten und Diskontinuitäten*, Stuttgart 1994, S. 13–32.
- Meissner, Ernst (Hg.), *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927.
- Mersch, Dieter, »Wissen in Bildern. Zur visuellen Epistemik in Naturwissenschaft und Mathematik«, in: Bernd Hüppauf, Peter Weingart (Hg.), *Frosch und Frankenstein – Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2009, S. 107–134.

- Meyer, Erich, »Die Stahlindustrie im Unterrichtsfilm«, in: *Ferrum: Nachrichten aus der Eisenbibliothek* 76 (2004), S. 42–49.
- von Mises, Richard, »Buchbesprechung: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt E. V. (WGL) 1927«, in: *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 8 (1928), S. 338, <https://doi.org/10.1002/zamm.19280080414>.
- Missomelius, Petra, *Bildung – Medien – Mensch. Mündigkeit im Digitalen*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2022.
- Mitchell, W. J. T., »Methods, Madness, and Montage«, in: Emanuel Alloa, Chiara Cappelletto (Hg.), *Dynamics of the Image. Moving Images in a Global World*, Berlin, Boston: De Gruyter 2020, S. 102–122.
- Mody, Cyrus C. M., *The Squares: US Physical and Engineering Scientists in the Long 1970s*, Cambridge, MA: MIT Press 2023.
- Moholy-Nagy, László, *Malerei, Photographie, Film*, München: Albert Langen 1925.
- Moholy-Nagy, László, »fotografie ist lichtgestaltung«, in: *bauhaus* 1 (1928), S. 2–9.
- Mol, Annemarie/John Law, »Regions, Networks and Fluids: Anaemia and Social Topology«, in: *Social Studies of Science* 24/4 (1994), S. 641–671, <http://www.jstor.org/stable/370267>.
- Mollaghan, Aimee, *The Visual Music Film*, Basingstoke: Palgrave Macmillan 2015.
- von Moltke, Johannes, »Ästhetisierung der Politik: Siegfried Kracauers Totalitäre Propaganda«, in: *Germanica* 66 (2020), S. 51–68.
- Moore, Kelly, *Disrupting Science. Social Movements, American Scientists, and the Politics of the Military*, Princeton: Princeton University Press 2008.
- Morgan, Cliff, »The DOI (Digital Object Identifier)«, <https://www.uksg.org/serials/doi>, zuletzt besucht am 5. 5. 2025.
- Moritz, William, »James Whitney Retrospective«, in: Programmkatalog des Canadian International Animation Festival, Toronto 1984, veröffentlicht unter <http://www.centerforvisualmusic.org/library/WMJJamesWRetro.htm>, zuletzt besucht am 18. 3. 2023.
- Moritz, William, *Optical Poetry. The Life and Work of Oskar Fischinger*, Bloomington: Indiana University Press 2004.
- Müller, Jan-Dirk, »Evidentia und Medialität. Zur Ausdifferenzierung von Evidenz in der Frühen Neuzeit«, in: Enno Rudolph, Thomas Steinfeld (Hg.), *Machtwechsel der Bilder. Bild und Bildverstehen im Wandel*, Zürich: Orell Füssli 2012, S. 261–289.
- Muñoz Morcillo, Jesús et al., »Producers of Popular Science Web Videos. Between New Professionalism and Old Gender Issues« (2019), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.05572>.
- Munz, Tania, *The Dancing Bees*, Chicago, London: University of Chicago Press 2017.
- Näser, Torsten, »Das Filmarchiv (von IWF und EC). Eine machtanalytische Nachlese«, in: Irene Ziehe, Ulrich Hägele (Hg.), *Fotografie und Film im Archiv Sammeln, Bewahren, Erforschen*, Münster: Waxmann 2013, S. 115–128.
- National Advisory Committee for Aeronautics (Hg.), *Index of NACA Technical Publications, 1915–1949*, Washington: NACA 1949.
- National Science Foundation (Hg.), *Released Textbooks, Films and Other Teaching Materials*, Washington: US Department of Health, Education & Welfare 1968.

- Naumann-Beyer, Waltraud, »Anschauung«, in: Karlheinz Barck et al. (Hg.), *Ästhetische Grundbegriffe*, Bd. 1, Stuttgart: J. B. Metzler 2010, S. 212.
- Nayler, J. L./R. A. Frazer, »Vortex Motion. (i) Preliminary Report upon an Experimental Method of Investigating, by the Aid of Kinematograph Photography, the History of Eddying Flow Past a Model Immersed in Water«, in: *Technical Report of the Advisory Committee for Aeronautics for 1917–18* 1 (1921), S. 18–25.
- nGbK, »Einleitung«, in: Dies. (Hg.), *Inszenierung der Macht: ästhetische Faszination im Faschismus*, Berlin: Nishen 1987, S. 7–11.
- nGbK (Hg.), *Erbeutete Sinne. Nachträge zur Berliner Ausstellung »Inszenierung der Macht, ästhetische Faszination im Faschismus«*, Berlin: Nishen 1988.
- Neimanis, Astrida, *Bodies of Water: Posthuman Feminist Phenomenology*, New York: Bloomsbury Academic 2017.
- Niemeyer, Sandra, »TIB vergibt millionsten Digital Object Identifier Bibliothek ist zweiterfolgreichstes DataCite-Mitglied nach Registrierungszahlen«, in: *Nachrichten Informationsdienst Wissenschaft*, 20. 4. 2015, <https://nachrichten.idw-online.de/2015/04/20/tib-vergibt-millions-ten-digital-object-identifier>, zuletzt aufgerufen am 5. 5. 2024.
- Niethammer, Verena, »Indoktrination oder Innovation? Der Unterrichtsfilm als neues Lehrmedium im Nationalsozialismus«, in: *Journal of Educational Media, Memory, and Society* 8/1 (2016), S. 30–60.
- Nikolow, Sybilla/Lars Bluma, »Die Zirkulation der Bilder zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Ein historiographischer Essay«, in: Bernd Hüppauf, Peter Weingart (Hg.), *Frosch und Frankenstein – Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft*, Bielefeld: transcript 2009, S. 45–78.
- Niven, Bill, *Jud Süß: das lange Leben eines Propagandafilms*, Halle, Saale: Mitteldeutscher Verlag 2022.
- O'Malley, Robert E., *Historical Developments in Singular Perturbations*, Cham, u. a.: Springer 2014.
- Oeschger, Christoph, *More than Meets the Eye – Christoph Oeschger*, PhD-Thesis University of the Arts Helsinki 2024, <https://www.researchcatalogue.net/view/2719418/2719401/o/o>, zuletzt besucht am 22. 4. 2025.
- Olszynko-Gryn, Jesse, »Film lessons: early cinema for historians of science«, in: *The British Journal for the History of Science* 49/2 (2016), S. 279–286, <https://doi.org/10.1017/S000708741600039X>.
- Olszynko-Gryn, Jesse/Patrick Ellis (Hg.), »Reproduction on Film«, Special Issue, in: *British Journal for the History of Science* 50/3 (2017).
- Olszynko-Gryn, Jesse, »Filming Fly Eggs: Time-Lapse Cinematography as an Intermedial Practice«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 307–314.
- Op den Kamp, Claudy, *The Greatest Films Never Seen: The Film Archive and the Copyright Smoke-screen*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2018.
- Oppermann, Serpil, *Blue Humanities: Storied Waterscapes in the Anthropocene*, Cambridge: Cambridge University Press 2023.

- Orgeron, Devin/Marsha Orgeron/Dan Streible (Hg.), *Learning With the Lights Off. Educational Film in the United States*, Oxford: Oxford University Press 2012.
- Orgeron, Devin/Marsha Orgeron/Dan Streible, »A History of Learning with the Lights Off«, in: Dies. (Hg.), *Learning With the Lights Off. Educational Film in the United States*, Oxford: Oxford University Press 2012, S. 15–66.
- Ostherr, Kirsten, »Health Films, Cold War, and the Production of Patriotic Audiences. The Body Fights Bacteria«, in: Charles Acland, Haidee Wasson (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 103–122.
- Osthues, Julian, *Literatur als Palimpsest: Postkoloniale Ästhetik im deutschsprachigen Roman der Gegenwart*, Bielefeld: transcript 2017.
- Painlevé, Jean, »Scientific Film«, in: Andy Masaki Bellows, Marina McDougall (Hg.), *Science Is Fiction: The Films of Jean Painlevé*, Cambridge, MA: MIT Press 2000, S. 160–169.
- Papenburg, Bettina, *Vitalitätseffekte. Erkenntnis und Affekt in der Medienkultur der Zellbiologie*, Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag 2023, S. 143–145.
- Paulitz, Tanja, *Mann und Maschine. Eine genealogische Wissenssoziologie des Ingenieurs und der modernen Technikwissenschaften, 1850–1930*, Bielefeld: transcript 2012.
- Peled, Alon, *Traversing Digital Babel*, Cambridge, MA: MIT Press 2014.
- Petermann, Werner, »Geschichte des ethnographischen Films. Ein Überblick«, in: Margarete Friedrich et al. (Hg.), *Die Fremden sehen. Ethnologie und Film*, München: Trickster 1984, S. 17–53.
- Peterson, Jennifer, »Glimpses of animal life: Nature films and the emergence of classroom cinema«, in: Devin Orgeron, Marsha Orgeron, Dan Streible (Hg.), *Learning With the Lights Off. Educational Film in the United States*, Oxford: Oxford University Press 2012, S. 145–167.
- Photiades, A., »Foreword. Interim Report on the German Educational Films Now in This Country«, in: Malte Ewert, *Die Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1934–1945)*, Hamburg: Verlag Dr. Kovač 1998.
- Pias, Claus, »On the Epistemology of Computer Simulation«, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 2/1 (2011), S. 29–54.
- Pichler, Wolfram/Ralph Ubl, *Bildtheorie zur Einführung*, Hamburg: Junius 2018.
- Pickering, Andrew, »Big Science as a Form of Life«, in: Michelangelo De Maria, Mario Grillo, Fabio Sebastiani (Hg.), *The Reconstructing of Physical Science in Europe and the United States 1945–1960*, Singapur, u. a.: World Scientific 1989, S. 42–54.
- Pickering, C. J. D./N. A. Halliwell, »Laser speckle photography and particle image velocimetry: photographic film noise«, in: *Applied Optics* 23 (1984), S. 2961–2969.
- Pöschl, Th., »Zweiter Internationaler Kongreß für Technische Mechanik in Zürich (12. bis 17. September 1926)«, in: *Die Naturwissenschaften* 14 (1926), S. 1029–1032.
- Prandtl, Ludwig, »Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung«, in: *Verhandlungen des III. Internationalen Mathematiker-Kongresses Heidelberg 1904*, Leipzig: Teubner 1905, S. 484–491.
- Prandtl, Ludwig, »Flüssigkeitsbewegungen«, in: *Handwörterbuch der Naturwissenschaften Band 4* (1913), S. 101–140.

- Prandtl, Ludwig, »Bemerkungen über die Entstehung der Turbulenz«, in: *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 1/6 (1921), S. 431–436, <https://doi.org/10.1002/zamm.19210010602>.
- Prandtl, Ludwig, »Aufgaben der Strömungsforschung«, in: *VDI-Nachrichten* 5/32 (1925), S. 335–338.
- Prandtl, Ludwig, »Magnuseffekt und Windkraftschiff«, in: *Die Naturwissenschaften* 13 (1925), S. 93–108.
- Prandtl, Ludwig, »The Generation of Vortices in Fluids of Small Viscosity«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 31/198 (1927), S. 720–741.
- Prandtl, Ludwig, »Die Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung«, in: *Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt* 18 (1927), S. 489–496.
- Prandtl, Ludwig, »Über die ausgebildete Turbulenz.« in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. 62–74.
- Prandtl, Ludwig, »Vorführung eines hydrodynamischen Films«, in: *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 7 (1927), S. 436–437.
- Prandtl, Ludwig, »Vorführung eines hydrodynamischen Films«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1927 (1927), S. 133.
- Prandtl, Ludwig, *Abriß der Strömungslehre*, Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn 1931.
- Prandtl, Ludwig, »Letter to Heinrich Himmler«, 12. 7. 1938, in: Hentschel (Hg.), *Physics and National Socialism* (1996), S. 172–175.
- Prandtl, Ludwig, »Mein Weg zu hydrodynamischen Theorien«, in: *Physikalische Blätter* 4 (1948), S. 89–92.
- Prandtl, Ludwig, »Bericht über die Göttinger Modellversuchsanstalt«, in: Ders., *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer 1961, S. 1263–1270.
- Prandtl, Ludwig/Carl Runge, »Das Institut für angewandte Mathematik und Mechanik«, in: Ludwig Prandtl, *Gesammelte Abhandlungen*, hg. von Walter Tollmien et al., Berlin: Springer (1961), S. 1187–1203.
- Prandtl, Ludwig/Oskar Tietjens, »Kinematographische Strömungsbilder«, in: *Die Naturwissenschaften* 13 (1925), S. 1050–1053.
- Prandtl, Ludwig/Oskar Tietjens, »Kinetographic [sic] Flow Pictures«, in: National Advisory Committee for Aeronautics (Hg.), *Technical Memorandum* 364, Washington: NACA 1926.
- Prášil, Franz, »Verschiedene Strömungserscheinungen«, in: *Verhandlungen des 2. Internationalen Kongresses für Technische Mechanik*, Zürich: Orell Füssli Verlag 1927, S. 474–476.
- Probst, Ronald, »Asher Shapiro, 1916–2004«, in: *Biographical Memoirs*, National Academy of Sciences (2014), <https://www.nasonline.org/wp-content/uploads/2024/06/shapiro-asher.pdf>, zuletzt besucht am 2. 5. 2025.
- Raffel, Markus/Christian Willert/Jürgen Kompenhans, *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*, Berlin: Springer 2018, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68852-7>.
- Reichel, Peter, *Der schöne Schein des Dritten Reiches. Faszination und Gewalt des Faschismus*, München: Hanser 1991.

- Rekvel, Joost, »4D. Introduction to the program«, 2004/2006, Blogbeitrag, <http://www.joostrekvel.net/wp/?p=488>, zuletzt besucht am 21. 3. 2023.
- Rekvel, Joost, »Crystals and Curves in Helsinki«, 2006, Blogbeitrag, <http://www.joostrekvel.net/wp/?p=205>, zuletzt besucht am 23. 12. 2022.
- Rekvel, Joost, *Dialogues with Machines*, VectorHack Festival Ljubljana, 7. 10. 2018, https://www.youtube.com/watch?v=KsL4JeHvRvk&t=528s&ab_channel=VectorHack-Festival, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.
- Rekvel, Joost, *11 Films*, Begleitbuch, Paris: Re:Voir 2019.
- Renner, Erich »Ludwig Kohl-Larsen – zur Frage von Schuld und Sühne«, in: Bernhard Streck (Hg.), *Ethnologie und Nationalsozialismus*, Gehen: Escher 2000, S. 115–125.
- Rheinberger, Hans-Jörg, *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Protein-synthese im Reagenzglas*, Berlin: Suhrkamp 2006 [2001].
- Rheinberger, Hans-Jörg, »Über die Kunst, das Unbekannte zu erforschen«, in: Peter Friese, Guido Boulboullé, Susanne Witzgall (Hg.), *Say it isn't so*, Ausst.-Kat. Museum Weserburg Bremen, Heidelberg: Kehrer 2007, S. 82–93.
- Rheinberger, Hans-Jörg, »History of Science with George Kubler«, in: *Texte zur Kunst* 19/76 (2009), S. 109–112.
- Rheinberger, Hans-Jörg, »Sichtbar Machen. Visualisierung in den Naturwissenschaften«, in: Klaus Sachs-Hombach (Hg.), *Bildtheorien. Anthropologische und kulturelle Grundlagen des Visual-istic Turn*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2009, S. 127–145.
- Rhys Morus, Iwan, »Performance«, in: Arne Hessenbruch (Hg.), *Reader's Guide to the History of Science*, London, Chicago: Fitzroy Dearborn Publishers 2000, S. 556–557.
- Rhys Morus, Iwan, »Placing Performance«, in: *Isis* 101/4 (2010), S. 775–778.
- Rhys Morus, Iwan, »Worlds of Wonder. Sensation and the Victorian Scientific Performance«, in: *Isis* 101/4 (2010), S. 806–816.
- Richter, Hans, *Filmgegner von heute – Filmfreunde von morgen*, Hamburg: Fischer 1981 [1929].
- Rocke, Alan J., *Image & Reality. Kekulé, Kopp, and the Scientific Imagination*, Chicago: University of Chicago Press 2010.
- Rogers, Hannah et al., *Routledge Handbook of Art, Science, and Technology Studies*, Milton: Taylor and Francis 2021.
- Roms, Heike, »Forschung in den Ruinen der Universität?«, in: Sibylle Peters (Hg.), *Das Forschen aller*, Bielefeld: transcript 2013, S. 205–224.
- Ross, Corey, *Liquid Empire. Water and Power in the Colonial World*, Princeton, Oxford: Princeton University Press 2024.
- Rothe, Hans, *Der Widerstand und Antrieb von Schiffen*, Berlin: M. Krayn 1912.
- Rothöhler, Simon, »Calm Images: The Invisible Visual Culture of Digital Image Distribution«, in: Olga Moskatova (Hg.), *Images on the Move: Materiality – Networks – Formats*, Bielefeld: transcript 2021, S. 73–86, <https://doi.org/10.1515/9783839452462-004>.
- Rotta, Julius, *Dokumente zur Geschichte der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen 1907–1925*, Köln: Wissenschaftliches Berichtswesen der DLR 1990.

- Rubach, Hans, *Über die Entstehung und Fortbewegung des Wirbelpaares hinter zylindrischen Körpern*, Berlin: Selbstverlag des VDI 1916.
- Rudolph, John L., *Scientists in the Classroom*, New York: Palgrave 2002.
- Rust, Bernhard, Runderlass »Unterrichtsfilm und amtliche Bildstellen«, 26. 6. 1934, in: *Der Bildwart. Blätter für die Volksbildung* 12/7 (1924), S. 21–27.
- Saini, Pierrine/Thomas Schärer, *Das Wissen der Hände: Die Filme der Schweizerischen Gesellschaft für Volkskunde, 1960–1990*, Münster: Waxmann 2019.
- Sapolsky, Harvey M., *Science and the Navy: The History of the Office of Naval Research*, Princeton: Princeton University Press 1990.
- Saraiva, Tiago, *Fascist Pigs. Technoscientific Organisms and the History of Fascism*, Cambridge, MA: MIT Press 2016.
- Sattelmacher, Anja, »Ein Digitalisat ist niemals Ersatz für das analoge Filmobjekt«, in: *Montage AV* 29/1 (2020), S. 141–156, <https://doi.org/10.25969/mediarep/21693>.
- Sattelmacher, Anja/Mario Schulze/Sarine Waltenspül, »Introduction: Reusing Research Film and the Institute for Scientific Film«, *Isis* 112/2 (2021), S. 291–298, <https://doi.org/10.1086/714823>.
- Saunders, Frances, *The Cultural Cold War. The CIA and the World of Arts and Letters*, New York: New Press 2001.
- Sax, David, *The Revenge of Analog: Real Things and Why They Matter*, New York: PublicAffairs 2016.
- Schaffer, Simon, »The consuming flame: electrical showman and Tory mystics in the world of goods«, in: John Brewer, Roy Porter (Hg.), *Consumption and the World of Goods*, London, New York: Routledge 1993, S. 489–526.
- Schimank, Uwe/Ute Volkmann, *Das Regime der Konkurrenz: gesellschaftliche Ökonomisierungsdynamiken heute*, Weinheim: Beltz Juventa 2017.
- Schmidt, Ulf, *Medical Films, Ethics and Euthanasia. The History of the Reich Office for Educational Films/Reich Institute for Films in Science and Education*, Husum: Matthiesen Verlag 2002.
- Scholz, Juliane, »Whitewashing the Nazi Past: Continuity and Transformation in Scientific Cinematography in Germany 1934–56«, in: Mariana Ivanova, Dies. (Hg.), *Science on Screen and Paper: Media Cultures and Knowledge Production in Cold War Europe*, New York, Oxford: Berg-hahn 2024, S. 18–30.
- Schultz-Figueroa, Benjamin, *The Celluloid Specimen: Moving Image Research into Animal Life*, Berkeley: University of California Press 2023.
- Schultz, Mario, »Many Men and a Few Women in the Wind Tunnel«, in: *Wind Tunnel Bulletin* 8 (2018), S. 156–159.
- Schulze, Mario, »Ein Kalter Krieg der Curricula. Das Physical Science Studies Committee«, in: Tom Holert (Hg.), *Bildungsschock. Lernen, Politik und Architektur in den 1960er und 70er Jahren*, Berlin: De Gruyter 2020, S. 122–127.
- Schulze, Mario, »Mobilizing Moving Images. Reusing a German Flow Film of the 1920s for US Science Education in the Cold War«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 361–369, <https://doi.org/10.1086/714728>.
- Schulze, Mario, »Flow Vis for the Space Race. German Science Films Re-used in US-American Physics Education During Cold War«, in: Mariana Ivanova, Juliane Scholz (Hg.), *Science on Screen*

- and Paper: *Media Cultures and Knowledge Production in Cold War Europe*, New York, Oxford: Berghahn Books 2024, S. 50–70, <https://doi.org/10.1515/9781805396376-005>.
- Schulze, Mario/Sarine Waltenspül, »From Images of Lines to Images of Particles. The Role of the Film Camera in Flow Visualization«, in: *Yearbook of Moving Image Studies (YoMIS) IV* (2019), S. 166–191.
- Schulze, Mario/Sarine Waltenspül, »Follow the Films. Reuses of a Research Film: Biography, Recycling, Whitewashing, Appropriation, and Palimpsesting«, in: Olga Moskatova (Hg.), *Images on the Move: Materiality – Networks – Formats*, Bielefeld: transcript 2022, S. 229–256.
- Schulze, Mario/Sarine Waltenspül, »Ein Film mit vielen Enden«, in: *Nach dem Film* 23 (2024), <https://nachdemfilm.de/issues/text/ein-film-mit-vielen-enden>.
- Schwab, Michael, »Introduction«, in: Ders. (Hg.), *Experimental Systems: Future Knowledge in Artistic Research*, Leuven: Leuven University Press 2016, S. 5–14.
- Segeberg, Harro (Hg.), *Mediale Mobilmachung I. Das Dritte Reich und der Film, Mediengeschichte des Films*, Band 4, München: Wilhelm Fink Verlag 2004.
- Sens, Irina et al., »Die TIB: Mehr als eine Bibliothek«, in: *Bibliothek Forschung und Praxis* 44/3 (2020), S. 474–484, <https://doi.org/10.1515/bfp-2020-2040>.
- Shapin, Steven, »The Invisible Technician«, in: *American Scientist* 77 (1989), S. 554–563.
- Shapiro, Ascher, *Shape and Flow*, New York: Anchor Books 1961.
- Shapiro, Ascher, »Motion Pictures for the Engineering Sciences«, in: *Journal for Engineering Education* 52/7 (1962), S. 474–477.
- Shapiro, Ascher, »Motion Pictures of Fluid Mechanics Phenomena«, in: *Bulletin for Mechanical Engineering Education* 2 (1963), S. 61–65.
- Shapiro, Ascher, *Illustrated Experiments in Fluid Mechanics*, Cambridge, MA: MIT Press 1972.
- Shell, Hanna Rose, »Cinehistory and Experiments on Film«, in: *Journal of Visual Culture* 11/3 (2013), S. 288–306, <https://doi.org/10.1177/1470412912455617>.
- Serres, Michel, *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce. Fleuves et turbulences*, Paris: Éditions de Minuit 1977.
- Simon, Josep, »The Transnational Physical Science Studies Committee: The Evolving Nation in the World of Science and Education (1945–1975)«, in: John Krige (Hg.), *How Knowledge Moves: Writing the Transnational History of Science and Knowledge*, Chicago: University of Chicago Press 2019, S. 308–342.
- Sleigh, Charlotte/Sarah Craske, »Art and science in the UK: a brief history and critical reflection«, in: *Interdisciplinary Science Reviews* 42/4 (2017), S. 313–330.
- Sobchack, Vivian, *Carnal Thoughts: Embodiment and Moving Image Culture*, Berkeley: University of California Press 2004.
- Sontag, Susan, *On Photography*, London: Penguin 1979.
- Southwell, Richard V., »Some Recent Work of the Aerodynamics Department, National Physical Laboratory«, in: *The Journal of the Royal Aeronautical Society* 29/172 (1925), S. 146–167.
- Southwell, Richard V., »Aeronautical Progress, 1914–1930. The James Forrest Lecture«, in: *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 230 (1931), S. 333–380.

- Stahl, Christiane, *Alfred Ehrhardt: Naturphilosoph mit der Kamera*, Berlin: Reimer 2007.
- Stańczyk, Ewa, »The rebelling orphan: adopting the found photograph«, in: *Feminist Media Studies* 18/6 (2018), S. 1040–1054, <https://doi.org/10.1080/14680777.2017.1393763>.
- Star, Susan Leigh/James Griesemer, »Institutional Ecology, »Translation« and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39«, in: *Social Studies of Science* 19/3 (1989), S. 387–420, <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>.
- Stark, Johannes, »»Science« is Politically Bankrupt«, in: Klaus Hentschel (Hg.), *Physics and National Socialism*, übersetzt aus dem Deutschen von Ann M. Hentschel, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag 1996, S. 157–160.
- Steiner, Katharina/Lukas Engelmann, »Circulation as a Visual Practice«, in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 46/2–3 (2023), S. 143–157, <https://doi.org/10.1002/bewi.202300023>.
- Steinmüller, Nina, *Zeitlichkeit und Geschichtlichkeit des bewegten Bildes in der Gegenwartskunst*, Leiden: Brill|Fink 2021, S. 127–192, https://doi.org/10.30965/9783846766170_006.
- Storch, Otto, »Das Tierfilm-Museum, eine gebotene Ergänzung des zoologischen Museums«, in: *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien* 92 (1951), S. 99–105.
- Streible, Dan, »The State of Orphan Films: Editor's Introduction«, in: *The Moving Image* 9/1 (2009), S. vi–xix.
- Sturken, Marita/Lisa Cartwright, *Practices of Looking: An Introduction to Visual Culture*, Oxford: Oxford University Press 2009 [2001].
- Suhara, Toyotarō/Naozō Satō/Sidutake Kamei, »A New Ultra-Speed Kinematographic Camera Taking 40,000 Photographs per Second«, in: *Reports of the Aeronautical Research Institute, Tōkiō Imperial University* V/60 (1930), S. 187–194.
- Szöllösi-Janze, Margit, »Archäologie des Wettbewerbs: Konkurrenz in und zwischen Universitäten in (West-)Deutschland seit den 1980er Jahren«, in: *Vierteljahrshefte für Zeitgeschichte* 69/2 (2021), S. 241–276, <https://doi.org/10.1515/vfzg-2021-0015>.
- Taillibert, Christel, »Le cinéma d'éducation et le projet internationaliste de la SDN: la brève histoire de l'Institut international du cinéma éducatif«, in: *Relations internationales* 183 (2020), S. 95–112, <https://doi.org/10.3917/ri.183.0095>.
- Tani, Itiro, »History of Boundary-Layer Theory«, in: *Annual Review of Fluid Mechanics* 9 (1977), S. 87–111.
- Tietjens, Oskar, »Kinematographische Strömungsaufnahmen von rotierenden und nicht rotierenden Zylindern«, in: *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt* 1925 13 (1926), S. 100–102.
- Tietjens, Oskar, »Anwendung des Films beim Studium von Strömungsvorgängen«, in: *Die Kinetik* 5 (1928), S. 135–137.
- Tietjens, Oskar, *Hydro- und Aeromechanik nach Vorlesungen von L. Prandtl. Zweiter Band: Bewegung reibender Flüssigkeiten und technische Anwendungen*, Berlin: Springer 1931.
- Tietjens, Oskar, *Applied Hydro- and Aeromechanics. Based on Lectures of Prof. Ludwig Prandtl*, New York, London: McGraw-Hill Book 1934.
- Tietjens, Oskar, *Applied Hydro- and Aeromechanics, Based on Lectures of L. Prandtl*, New York: Dover 1957 [1934].

- Tietjens, Oskar, *Fundamentals of Hydro- and Aeromechanics, Based on Lectures of L. Prandtl*, New York: Dover 1957 [1934].
- Tietjens, Oskar, *Strömungslehre. Erster Band: Physikalische Grundlagen vom technischen Standpunkt*, Berlin: Springer 1960.
- Tobing Rony, Fatimah, *The Third Eye: Race, Cinema and Ethnographic Spectacle*, Durham, NC, London: Duke University Press 1996.
- Tolle, Wolfgang, *Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht*. Berlin: Hoenemann 1961.
- Trischler, Helmuth, *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970: Politische Geschichte einer Wissenschaft*, Frankfurt a. M.: Campus Verlag 1992.
- Tsing, Anna Lowenhaupt, *The Mushroom at the End of the World. On the Possibility of Life in Capitalist Ruins*, Princeton: Princeton University Press 2015, S. 137.
- Valdivieso, Mercedes, »Eine ›symbiotische Arbeitsgemeinschaft‹«, in: Renate Berger (Hg.), *Liebe Macht Kunst: Künstlerpaare im 20. Jahrhundert*, Köln: Böhlau, S. 65–86.
- Vertesi, Janet, *Seeing like a Rover: How Robots, Teams, and Images Craft Knowledge of Mars*, Chicago: University of Chicago Press 2015.
- Vogel, Amos, »Cinema 16 and the Question of Programming«, in: *Film Culture* 3 (1955), abgedruckt in: Scott MacDonald, *Cinema 16: Documents Toward a History of the Film Society*, Philadelphia: Temple University Press 2002.
- Vogel, Christian/Sonja Nökel (Hg.), *Gesichter der Wissenschaft: Repräsentanz und Performanz von Gelehrten in Porträts*, Göttingen: Wallstein 2019.
- Vogel, Christian, »Objektbiographien«, in: Christian Klein (Hg.), *Handbuch Biographie. Methoden, Traditionen, Theorien*, Berlin: J. B. Metzler 2022, S. 293–300.
- Vogel-Prandtl, Johanna, *Ludwig Prandtl. Ein Lebensbild. Erinnerungen, Dokumente*, Göttingen: Universitätsverlag Göttingen 2005 [1993].
- Vöhringer, Margarete/Michael Hagner, »Vsevolod Pudovkins Mechanik des Gehirns – Film als psychophysiologisches Experiment«, in: Horst Bredekamp, Gabriele Werner (Hg.), *Bildwelten des Wissens. Band 2,1 Bildtechniken des Ausnahmezustands*, Berlin: De Gruyter 2004, S. 82–92, <https://doi.org/10.1515/9783110546866-010>.
- Wagner, Claus D., *Die Segelmaschine. Der Flettner-Rotor: eine geniale Erfindung und ihre mögliche Renaissance*, Hamburg: Kabel 1991.
- Wahlberg, Malin, »Wonders of Cinematic Abstraction: J. C. Mol and the Aesthetic Experience of Science Film«, in: *Screen* 47/3 (2006), S. 273–289.
- Waller, Gregory A., »Projecting the Promise of 16mm, 1935–45«, in: Charles Acland, Haidee Wasson (Hg.), *Useful Cinema*, Durham, NC, London: Duke University Press 2011, S. 125–148.
- Waltenspül, Sarine, »Reusable and Nonreusable Films: From Ballistic Films to the Encyclopaedia Cinematographica«, in: *Isis* 112/2 (2021), S. 342–351, <https://doi.org/10.1086/714723>.
- Waltenspül, Sarine, »Geschichtsvergessene Digitalisierung. Nationalsozialistische Provenienzen wissenschaftlich-technischer Filme aus der Sammlung des IWF«, in: *Technikgeschichte* 91/2 (2024), S. 139–174.

- Waltenspül, Sarine, »Who Owns the Films? Who Shows the Films? A Film of String Figures in a Web of Relationships«, in: Mario Schulze, Dies. (Hg.), *String Figures. A Cultural Practice between Art, Anthropology, and Theory*, Zürich, Berlin: Diaphanes 2025, S. 93–122.
- Warwick, Andrew, *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*, Chicago: University of Chicago Press 2003.
- Wasson, Haidee, *Everyday Movies: Portable Film Projectors and the Transformation of American Culture*, Berkeley: University of California Press 2021.
- Wees, William Charles, *Recycled Images: The Art and Politics of Found Footage Films*, New York: Anthology Film Archives 1993.
- Wellmann, Janina, »Science and Cinema«, in: *Science in Context* 24/3 (2011), S. 311–328.
- Wellmann, Janina, »Seduced by form or flow? Etienne-Jules Marey's experiments on air flow dynamics«, in: *Wind Tunnel Bulletin* 9 (2019), S. 278–279.
- Wenzlhuemer, Roland et al., »Forum Global Dis:connections«, in: *Journal of Modern European History* 21 (2023), S. 2–33, <https://doi.org/10.1177/16118944221148939>.
- Westerweel, Jerry, *Digital particle image velocimetry: Theory and application*, Delft: Delft University Press 1993.
- Wildt, Michael, *Zerbrostene Zeit: Deutsche Geschichte 1918 bis 1945*, München: C. H. Beck 2022.
- Willer, Jörg, »Physikunterricht unter der Diktatur des Nationalsozialismus«, in: Reinhard Dithmar, Wolfgang Schmitz (Hg.), *Schule und Unterricht im Dritten Reich*, Ludwigsfeld: Ludwigsfelder Verlagshaus 2001, S. 317–330.
- Willert, Christian/Morteza Gharib/Jürgen Kompenhans, »PIV Analysis of Prandtl's Flow Visualization Movies«, am: *62nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics* 54/19, Minneapolis (2009), <https://meetings.aps.org/Meeting/DFD09/Session/ML.1>, zuletzt besucht am 4. 5. 2025.
- Willert, Christian/Jürgen Kompenhans, »PIV Analysis of Ludwig Prandtl's Historic Flow Visualization Films«, am: *63rd Annual APS-DFD Meeting*, Long Beach (2010), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1010.3149>.
- Willert, Christian/Mario Schulze/Sarine Waltenspül/Daniel Schanz/Jürgen Kompenhans, »Prandtl's Flow Visualization Films meet Shake-The-Box«, am: *21th International Symposium on Flow Visualization*, Tokio (2025).
- Williams, Tami, *Germaine Dulac: A Cinema of Sensations*, Urbana: University of Illinois Press 2014.
- Winsberg, Eric, *Science in the Age of Computer Simulation*, Chicago: University of Chicago Press 2010.
- Winter, Alison, »Cats on the Couch: The Experimental Production of Animal Neurosis«, in: *Science in Context* 29/1 (2016), S. 77–105, <https://doi.org/10.1017/S0269889715000393>.
- Wisnioski, Matthew, »Why MIT Institutionalized the Avant-Garde: Negotiating Aesthetic Virtue in the Postwar Defense Institute«, in: *Configurations* 21/1 (2013), S. 85–116, <https://dx.doi.org/10.1353/con.2013.0006>.
- White, Hayden, *Metahistory: The Historical Imagination in Nineteenth-Century Europe*, Baltimore: Johns Hopkins University Press 1973.

- Witte, Karsten, »Film im Nationalsozialismus. Blendung und Überblendung«, in: Wolfgang Jacobsen, Anton Kaes, Hans Helmut Prinzler (Hg.), *Geschichte des deutschen Films*, Stuttgart: J. B. Metzler 1993, S. 119–170.
- Wolf, Gotthard, »Der Neubau des Instituts für den wissenschaftlichen Film in Göttingen«, in: *Research Film, Le Film de Recherche, Forschungsfilm* 4/1 (1961), S. 1–7.
- Wolf, Gotthard, *Der Wissenschaftliche Dokumentationsfilm und die Encyclopaedia Cinematographica*, München: Johann Ambrosius Barth Verlag 1967.
- Wolf, Gotthard, »Die wissenschaftliche Film-Enzyklopädie als internationale Aufgabe«, in: *Research Film, Le Film de Recherche, Forschungsfilm* 1/3 (1953), S. 1–6.
- Wolfe, Audra J., *Freedom's Laboratory: The Cold War Struggle for the Soul of Science*, Baltimore: Johns Hopkins University Press 2018.
- Zimmermann, Peter/Kay Hoffmann, »Von der Gleichschaltungs- und Propaganda-These zur differenzierten Erforschung dokumentarischer Genres«, in: Dies. (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in Deutschland. Bd. 3 ›Drittes Reich‹ 1933–1945*, Stuttgart: Reclam 2005.
- Zimmermann, Peter, »Kontinuitäten und Wandlungen im Zeichen von ›Entnazifizierung‹ und ›Reeducation‹«, in: Ders., Kay Hoffmann (Hg.), *Geschichte des dokumentarischen Films in Deutschland, Bd. 3, ›Drittes Reich‹ 1933–1945*, Stuttgart: Reclam 2005, S. 691–709.
- Zimmermann, Peter, *Dokumentarfilm in Deutschland: von den Anfängen bis zur Gegenwart*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung 2022.
- Zimmermann, Yvonne, »Zur (Un-)Produktivität epistemischer Bilder als Quellen der Filmgeschichtsschreibung«, in: Hannes Rickli (Hg.), *Videogramme*, Zürich: Scheidegger und Spiess 2011, S. 130–135.
- Zimmermann, Yvonne, »Analyse nicht-fiktionaler Filmformen«, in: Malte Hagener, Volker Pantenburg (Hg.), *Handbuch Filmanalyse*, Wiesbaden: Springer 2017, S. 1–14.
- Zindel, Hannah, »Werkzeug Windkanal. Simulationen in der Stadtklimaforschung«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 10/2 (2018), S. 54–67, <https://dx.doi.org/10.25969/mediarep/1437>.