

Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“
Research Program “History of the Kaiser Wilhelm Society in the National Socialist Era”

RECHNEN, MESSEN, FÜHREN

**KRIEGSFORSCHUNG AM KAISER-WILHELM-INSTITUT
FÜR STRÖMUNGSFORSCHUNG (1937–1945)**

Moritz Epple

IMPRESSUM

Ergebnisse. Vorabdrucke aus dem Forschungsprogramm
„Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“

Herausgegeben von Carola Sachse im Auftrag der Präsidentenkommission
der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V.

Alle Rechte vorbehalten.
Copyright © 2002 by Moritz Epple

Redaktion: Christine Rüter

Bezugsadresse:
Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-
Gesellschaft im Nationalsozialismus“
Glinkastraße 5–7
D-10117 Berlin
Tel.: 0049–(0)30–2 26 67–154
Fax: 0049–(0)30–2 26 67–333
Email: kwg.ns@mpiwg-berlin.mpg.de

Umschlaggestaltung:
punkt 8, Berlin (mail@punkt8-berlin.de)

INHALT

Kurzfassung/Abstract	4
Einleitung	5
Vorgeschichte, Struktur und Profil des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung	9
Vorgeschichte	9
Struktur	13
Profil	15
Rechnen und Messen: Die Kriegsaufträge	19
Übersicht	19
Formen der Kriegsforschung	24
– Finalisierte Forschung	24
– Rechnen	26
– Messen	28
– „Gelegentliche Beratungen über Nebelauflösung“	31
Führen	32
Statt Schlußfolgerungen: Offene Fragen	36
Quellen	44
Literatur	45
Index	48
Autor	49

KURZFASSUNG/ABSTRACT

Das von Ludwig Prandtl geleitete Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung in Göttingen wurde im Jahr 1937 von der direkt dem Reichsluftfahrtministerium untergeordneten Aerodynamischen Versuchsanstalt getrennt. Der vorliegende Aufsatz untersucht die vor und während des zweiten Weltkriegs an Prandtls Institut ausgeführten Forschungsvorhaben. Dabei wird deutlich, wie schnell viele dieser Vorhaben (von denen manche bereits vor dem Krieg auf rüstungsrelevante Fragen ausgerichtet waren) an die Randbedingungen des Krieges angepaßt werden konnten. In den letzten Kriegsjahren war das deutlich vergrößerte Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung fast ausschließlich mit aktuellen Fragen der Rüstungsforschung beschäftigt, insbesondere im Bereich der Hochgeschwindigkeits-Aerodynamik und der Kavitation. Die Integration des Prandtlschen Instituts in die nationalsozialistischen Strukturen der Kriegsforschung kann auf drei Ebenen genauer verfolgt werden. Zum einen wird deutlich gemacht, in welchem Umfang das Institut von der Finanzierung militärischer und industrieller Auftraggeber abhing. Zum andern wird Prandtls Rolle in den Netzen der NS-Forschungspolitik resümiert. Schließlich wird nachgezeichnet, wie die an Prandtls Institut bearbeiteten Forschungsgegenstände so modifiziert wurden, daß rüstungsrelevante Fragen verfolgt werden konnten, ohne die eingespielte Dynamik der Forschungspraxis grundlegend zu verändern. Auf allen drei Ebenen ist der Prozeß der Integration von einer bemerkenswerten Reibungslosigkeit gekennzeichnet.

In 1937, the Kaiser Wilhelm Institute for Fluid Dynamics (*Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung*) in Göttingen, directed by Ludwig Prandtl, was separated from the *Aerodynamische Versuchsanstalt* which was placed directly under the Reich Aviation Ministry. The present study investigates the research done at Prandtl's institute in the years before and during World War II. It becomes clear that many research projects (some of which were already directed toward military aims before the war) could quickly be adapted to the conditions of warfare. The institute grew significantly, and during the last war years most research activities were devoted to issues of military technology, especially in the domains of high-speed aerodynamics and cavitation. The integration of Prandtl's institute into the structures of National Socialist war research may be traced in detail on three levels: the extent of the institute's dependence on funding by military and industrial customers; Prandtl's role in the networks of National Socialist science policy-making; and, finally, the ways in which the basic objects of research at Prandtl's institute were modified to meet military aims without changing the usual research praxis. On all three levels, the process of integration was characterized by a remarkable freedom of frictions.

Rechnen, Messen, Führen

Kriegsforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung (1937–1945)*

Moritz Epple

EINLEITUNG

Die Geschichte der Wissenschaften im Nationalsozialismus – und folglich auch die Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG) – bewegt sich in einem Feld, das entlang einer Reihe ganz verschiedener Dimensionen analysiert werden kann. Unter anderem geht es um die Beziehungen zwischen Wissenschaft und Ideologie, um die Verflechtung akademischer und staatlicher Institutionen, um das Verhalten von Wissenschaftlern gegenüber verfolgten Kollegen, um die Beteiligung von Wissenschaftlern an der Vorbereitung und Durchführung der Verbrechen des NS-Staates.¹ Daneben muß aber auch noch jene Dimension ins Auge gefaßt werden, in welcher sich die vorliegende Arbeit bewegt. Hier geht es um Wissenschaften oder genauer: Technowissenschaften, die allein aufgrund ihrer Forschungsthemen und -strukturen von hohem Interesse für jeden modernen Staat waren, zumal für einen militärisch hochgerüsteten Staat.² Die Integration solcher Wissenschaften in den nationalsozialistischen Staat war deshalb zunächst weder eine Frage der Ideologie noch eine Frage der Moral. Von vielen

* Der vorliegende Aufsatz teilt erste Resultate meiner Archivarbeiten während eines Gastaufenthalts im Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“ der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin mit. In gekürzter Form waren diese Resultate im November 2000 Gegenstand eines öffentlichen Vortrags des Forschungsprogramms. Ich möchte bei dieser Gelegenheit allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe für die anregende und konstruktive Atmosphäre, in der ich meinen Aufenthalt in Berlin verbringen konnte, herzlich danken. Für ihre kritische Lektüre einer früheren Fassung dieses Aufsatzes danke ich insbesondere Helmut Maier und Carola Sachse.

1 Anstelle eines Hinweises auf die inzwischen umfangreiche Literatur sei hier nur auf eine Skizze der Fragestellungen des Forschungsprogramms „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“ verwiesen, vgl. Doris Kaufmann, Wissenschaft im Nationalsozialismus, in: Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. (Hg.), Ethos der Forschung. Ethics of Research. Ringberg-Symposium Oktober 1999, München 2000, S. 11-23.

2 Das Verhältnis von Technik und Wissenschaften ist historisch komplex. Wenn im folgenden der Ausdruck „Technowissenschaften“ (ein Plural) gebraucht wird, so mit Blick auf jene modernen Wissenschaften, die eng an die Entwicklung bedeutender Technologien geknüpft waren. Die Entwicklung der Aerodynamik ist ohne die Entwicklung der Luftfahrt ebenso undenkbar wie fortgeschrittene Flugtechnologien ohne aerodynamische Forschung. In solchen Disziplinen können klare Grenzen zwischen „Wissenschaft“ und „Technik“ nicht mehr gezogen werden. Zur Kritik eines inflationären Gebrauchs des Ausdrucks „Technowissenschaft“ (im Singular) vgl. aber auch Hans-Jörg Rheinberger, *Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube*, Stanford 1997, S. 31 f.

Akteuren – Wissenschaftlern, Ingenieuren, Politikern –, aber auch retrospektiv von Historikern, wurde sie als schlichte Selbstverständlichkeit betrachtet. In der Tat: Was könnte an der Kooperation von Aerodynamikern und Flugzeugkonstrukteuren, von Forschungsinstituten und Luftwaffe, an der Kooperation von in einem solchen Gebiet tätigen Wissenschaftlern, Industriellen, Militärs und Ministerialbeamten während der NS-Zeit überraschend oder von spezifischer Signifikanz sein?

Studiert man die vorliegende Literatur, so zeichnen sich zwei historiographische Tendenzen ab. Zum einen kann eine Technowissenschaft wie die Aero- und Hydrodynamik zur Illustration der verfahrenen Strukturen der Wissenschaftsorganisation im Nationalsozialismus dienen. Eine exemplarische Studie in dieser Richtung liefert Karl-Heinz Ludwigs Monographie *Technik und Ingenieure im Dritten Reich* von 1974.³ Thematisiert werden hier und in ähnlichen Untersuchungen die ständigen Reibereien zwischen den einzelnen Ministerien, etwa zwischen dem Reichserziehungsministerium (REM) mit dem ihm angegliederten Reichsforschungsrat (RFR) und dem Reichsluftfahrtministerium Hermann Görings (RLM), zwischen den verschiedenen Wehrmachtsteilen,⁴ zwischen verschiedenen Dienststellen in den Ministerien (etwa zwischen den technischen Abteilungen und der Forschungsabteilung im RLM⁵) oder zwischen Wissenschaftlern, die unterschiedliche Allianzen mit konkurrierenden Interessengruppen in den staatlichen Stellen eingingen, um ihr je eigenes Süppchen zu kochen.⁶ Weitere Themen, die in dieser Perspektive wichtig werden, sind die Unfähigkeit der Forschungsinstitutionen des NS-Staates, wissenschaftliche Forschung effektiv vor Eingriffen der Partei oder vor Einberufungen zum Militär zu schützen, und dergleichen mehr.

An diesen Beobachtungen ist vieles richtig. Trotzdem darf nicht aus dem Blick geraten, daß wir es in etlichen Bereichen – und zumindest im Fall jener Wissenschaft, die am Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Strömungsforschung in Göttingen betrieben wurde, d. h. der Hydro- und Aerodynamik oder eben, im Jargon der Zeit, der „Strömungsforschung“ – mit Technowissenschaften zu tun haben, die bei Kriegsende dem internationalen Vergleich mit den fortgeschrittensten Staaten durchaus standhielten. In manchen Gebieten, etwa dem Hochgeschwindigkeitsflug, waren die deutschen Forschungseinrichtungen sogar führend, ganz gleich, wie schwach sich die Luftwaffe während des Krieges geschlagen hatte

3 Karl-Heinz Ludwig, *Technik und Ingenieure im Dritten Reich*, Düsseldorf 1974.

4 Hier mag der Fall der konkurrierenden Raketenprojekte des Heeres und der Luftwaffe als paradigmatisches Beispiel dienen, vgl. dazu Michael J. Neufeld, *Die Rakete und das Reich. Wernher von Braun, Peenemünde und der Beginn des Raketenzeitalters*, 2. Aufl., Berlin 1999.

5 Vgl. etwa Horst Boog, *Die deutsche Luftwaffenführung 1935–1945. Führungsprobleme, Spitzengliederung, Generalstabsausbildung*, Stuttgart 1982; eine Studie, an die kürzlich Wilhelm Deist wieder erinnert hat, vgl. ders., *Rüstungsforschung und Wehrmacht. Ein Kommentar*, in: Doris Kaufmann (Hg.), *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung*, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 363-370.

6 Beispiele hierfür finden sich in allen Bereichen. Für einen aufschlußreichen Fall aus der Mathematik sei herausgegriffen: Volker R. Remmert, *Mathematicians At War. Power Struggles in Nazi Germany's Mathematical Community – Gustav Doetsch and Wilhelm Süss*, in: *Revue d'histoire des mathématiques* 5, 1999, S. 101-153.

und wie groß die Strukturprobleme der Forschungsorganisation gewesen sein mochten.

Zum zweiten kann die NS-Periode der hydro- und aerodynamischen Forschung als Kapitel einer Entwicklung verstanden werden, die ihren eigentlichen Sinn erst in einer größeren Kontinuität erhält. Dies ist etwa der Blickwinkel Helmuth Trischlers.⁷ Die Göttinger Institute der Luftfahrt- und Strömungsforschung werden in dieser Perspektive neben anderen, ähnlichen Institutionen zu ersten Einrichtungen der Großforschung. Wichtigster Indikator dieser langfristigen Zusammenhänge sind (neben Geld- und Materialströmen) vielleicht die erstaunlichen personellen Kontinuitäten im Bereich der Aerodynamik und Luftfahrtforschung. Wissenschaftlerkarrieren wie die von Ludwig Prandtl, des Direktors des KWI für Strömungsforschung, und seines bedeutenden Schülers Albert Betz⁸ zogen sich vom Kaiserreich bis in die Bundesrepublik. Sie garantierten nicht nur die Tradierung theoretischer Ansätze, sondern auch die Weitergabe forschungsorganisatorischer Strukturen. Für die Kontinuität über die Schwelle 1933 hinweg stehen auch Karrieren wie die von Adolf Bäumker, dem lange Zeit führenden Organisator der Weimarer und NS-Luftfahrtforschung, oder die von Erhard Milch, der es vom Vorstandsmitglied der Lufthansa in der Weimarer Republik bis zum Staatssekretär im RLM und schließlich zum Generalluftzeugmeister, mithin zum Dirigenten des gesamten Rüstungsprogramms der Luftwaffe brachte.⁹

Die für die NS-Periode spezifischen Elemente beschränken sich in dieser Sicht auf die auch von der ersten historiographischen Richtung betonten Reibungsverluste und den durch die Niederlage erzwungenen, teils aber schnell wieder ausgeglichenen Einschnitt nach 1945. Die Frage der Kooperation von Wissenschaftlern mit dem NS-Regime wird zu der Frage umgedeutet, wie das langfristige Interesse am Fortschritt der eigenen Disziplin unter den gegebenen Bedingungen verfolgt werden konnte. Das Problem der Nähe der Einstellungen beteiligter Wissenschaftler zu den Zielen des Nationalsozialismus droht dabei aus dem Blick zu geraten bzw. zum unspezifischen Hinweis auf eine „tiefverwurzelte Auffassung von den Pflichten eines Staatsbürgers“ abgemildert zu werden (so etwa Trischler über Ludwig Prandtl).¹⁰

Die Frage nach den Charakteristika der Aktivitäten in einer Technowissenschaft wie der Aero- und Hydrodynamik während des Nationalsozialismus kann jedoch auf nochmals andere Weise gestellt werden. Herbert Mehrrens hat vor etlichen Jahren bereits darauf hingewiesen, daß die Ineffektivitäten der Wissenschaftsorganisation in Bereichen wie der Luftfahrtforschung kaum auf fachliche Neutralitätsstandards oder politisch-moralische Bedenken der Wissenschaftler

7 Vgl. insbesondere Helmuth Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland, 1900–1970. Politische Geschichte einer Wissenschaft*, Frankfurt/Main 1992; ders., „Big Science“ or „Small Science“? Die Luftfahrtforschung im Nationalsozialismus, in: Kaufmann (Hg.), *Geschichte*, S. 328–362.

8 Betz war ab 1925 stellvertretender Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen und ab 1937 deren Direktor. Nach dem Krieg wurde er Direktor des Nachfolgeinstituts des KWI für Strömungsforschung, d.h. des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.

9 Einzelheiten zu diesen Karrieren z. B. bei Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung*.

10 Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung*, S. 250; ders., „Big Science“, S. 355.

zurückzuführen sind, sondern auf „die wesentlich anarchische politische Struktur und Dynamik“ der Institutionen des NS-Staates.¹¹ Tatsächlich ist es eine offene Frage, in welchem Maß solche Ineffektivitäten auf politisch-organisatorischer Ebene den eigentlichen Forschungsbetrieb in den Instituten einschränkten. Nimmt man diesen, und nicht die zahllosen, sich gegenseitig durchkreuzenden Memoranden, Pläne, Entscheidungen und Intrigen von Ministerialbeamten, in den Blick, so erweist sich gerade die weitgehende Reibungslosigkeit der Integration wissenschaftlicher Arbeit in die technischen und militärischen Strukturen eines verbrecherischen Regimes als historisch signifikant. Es ist nicht die Schwierigkeit, sondern die Leichtigkeit der Anpassung des Forschungsalltags einer Technowissenschaft an die Bedingungen von Aufrüstung und Krieg, die auf der Ebene der Forschungspraxis ins Auge fällt. Die folgende Studie zeigt dabei vermutlich nur einen speziellen Fall des allgemeineren Phänomens, daß die Interessen von Wissenschaftlern und solchen Vertretern von Staat, Militär und Industrie, die sich für die Entwicklung von Rüstungstechnologien einsetzen, prinzipiell kompatibel sind. In der Periode des Zweiten Weltkriegs wurde dies auch auf internationaler Ebene deutlicher sichtbar als zu anderen Zeiten. Daß diese Konvergenz der Interessen sich auch im nationalsozialistischen Deutschland ohne nennenswerte Widerstände in einem funktionierenden Forschungsbetrieb manifestierte, zeigt freilich klarer als im Falle anderer Staaten die Problematik einer Wissenschaftsstruktur, in der demokratische und moralische Standards keine nennenswerte Rolle spielen. In diesem Sinn wird am Ende dieser Arbeit deshalb die paradox klingende These stehen: Historisch signifikant ist an der NS-Periode einer Technowissenschaft wie der Strömungsforschung, daß es (von kleineren Turbulenzen abgesehen) gar keinen signifikanten Bruch mit der eingespielten Forschungspraxis gab.

Auf einer feineren Skala wird über den Forschungsbetrieb am KWI für Strömungsforschung zu zeigen sein: (1) Es gab einen nahtlosen Übergang von etlichen bereits in Friedenszeiten durchgeführten Forschungsprogrammen in Kriegsaufträge; die wenigen bei Kriegsbeginn unterbrochenen Forschungsaktivitäten wurden schnell wieder aufgenommen und in modifizierter Form fortgeführt. (2) Während des Krieges läßt sich eine Dynamisierung der Kriegsorientierung nach den allgemeinen Maßgaben der Kriegsentwicklung und der damit verbundenen Rüstungs- und Wissenschaftspolitik beobachten. (3) Allen entgegenstehenden Bekundungen mancher Akteure zum Trotz läßt sich eine weitgehende Homogenität von sogenannter Grundlagen- und Kriegsforschung nachweisen. (4) Die Anpassung des Forschungsbetriebs an die Kriegsbedingungen und die Akzentverschiebungen zwischen „Grundlagen“- und Kriegsforschung lassen sich anhand eines einfachen epistemischen Musters verstehen, das am Ende dieser Studie diskutiert wird.

Die Materialgrundlage der folgenden Studie sind neben gedruckten Quellen hauptsächlich die im Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin-Dahlem vorhandenen Akten, die das KWI für Strömungsforschung be-

11 Herbert Mehrrens, Kollaborationsverhältnisse. Natur- und Technikwissenschaften im NS-Staat und ihre Historie, in: Christoph Meinel/Peter Voswinkel (Hg.), *Medizin, Naturwissenschaft und Technik im Nationalsozialismus. Kontinuitäten und Diskontinuitäten*, Stuttgart 1994, S. 13-32, hier S. 24.

treffen.¹² Von einer vollständigen Auswertung des umfangreichen Materials bin ich jedoch noch weit entfernt. Diese Studie sollte deshalb als ein Zwischenbericht verstanden werden, dessen Ergebnisse im Detail weiterer Ergänzung und Kontextualisierung bedürfen.

VORGESCHICHTE, STRUKTUR UND PROFIL DES KAISER-WILHELM- INSTITUTS FÜR STRÖMUNGSFORSCHUNG

Vorgeschichte

Die Gründung der Göttinger Institutionen für Strömungsforschung, d.h. insbesondere der Aerodynamischen Versuchsanstalt sowie ihr Ausbau zu einem Institut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft sind in der Literatur mehrfach beschrieben worden. Sowohl von beteiligten Wissenschaftlern der ersten Generation wie Ludwig Prandtl und Albert Betz, als auch von Aerodynamikern späterer Generationen wie Julius Rotta, aber auch von neueren Historikern wie Helmuth Trischler liegen ausführliche Darstellungen vor.¹³ Einige zusammenfassende Bemerkungen zur Zeit vor 1933 mögen hier genügen.

Die ersten Impulse zum Aufbau aerodynamischer Forschungsinstitutionen in Göttingen kamen von dem einflußreichen Triumvirat der „Göttinger Vereinigung zur Förderung der angewandten Physik und Mathematik“, d.h. von dem Mathematiker Felix Klein, dem Direktor der Bayer-Farbenwerke in Elberfeld, Henry von Böttinger, und dem preußischen Ministerialdirektor Friedrich Althoff.¹⁴ Den dreien, deren Kooperation eine frühe Form der für das 20. Jahrhundert charakteristischen Netzwerke zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik darstellt und denen die Konstruktion der mathematisch-naturwissenschaftlichen

12 Die beiden Hauptbestände sind die Institutsakten in Abt. I, Rep. 44 und die Dokumente im persönlichen Nachlaß Ludwig Prandtls in Abt. III, Rep. 61. Dazu kommen Akten der Generalverwaltung der KWG in Abt. I, Rep. 1A. Aufgrund der Häufigkeit der Verweise auf das MPG-Archiv werden Siglen wie Abt. I, Rep. 44, Nr. 46 im folgenden in der verkürzten Form „MPG-Archiv, I, 44/46“ zitiert.

13 Die wichtigsten Veröffentlichungen sind: Ludwig Prandtl, *Geschichtliche Vorbemerkungen*, in: *Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen*, 1. Lieferung, München 1921, S. 1-7; Albert Betz, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen. Ein Beitrag zu ihrer Geschichte*, in: Walter Boje/Karl Stuchtey (Hg.), *Beiträge zur Geschichte der Deutschen Luftfahrtwissenschaft und Technik*, Berlin 1941, S. 3-166; Julius C. Rotta, *Die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen, ein Werk Ludwig Prandtls. Ihre Geschichte von den Anfängen bis 1925*, Göttingen 1990; Cordula Tollmien, *Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung verbunden mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt*, in: Heinrich Becker u. a. (Hg.), *Die Universität Göttingen unter dem Nationalsozialismus*, 2. Aufl., München 1998, S. 684-708; Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung*. Aus diesen Arbeiten bekannte Details werden im folgenden nicht einzeln nachgewiesen.

14 Zur „Göttinger Vereinigung“ und dem genannten Triumvirat vgl. Karl-Heinz Manegold, *Universität, Technische Hochschule und Industrie. Ein Beitrag zur Emanzipation der Technik im 19. Jahrhundert unter besonderer Berücksichtigung der Bestrebungen von Felix Klein*, Berlin 1970; David E. Rowe, Klein, Hilbert, and the Göttingen Mathematical Tradition, in: *Osiris* 5, 1989, S. 186-213; Herbert Mehrrens, *Moderne – Sprache – Mathematik. Eine Geschichte des Streits um die Grundlagen der Disziplin und des Subjekts formaler Systeme*, Frankfurt/Main 1990, Kap. 5.

Forschungslandschaft Göttingens zu verdanken ist, gelang es, im Jahr 1904 den jungen Hannoveraner Professor Ludwig Prandtl nach Göttingen abzuwerben. Wie vor allem Klein erkannt hatte, stand Prandtl gerade im Begriff, die theoretische Landschaft der Hydrodynamik umzuwälzen. Er sammelte denn auch schnell junge, begabte Mitarbeiter um sich wie Theodore von Kármán, Otto Föpl und Albert Betz.

Die Forschungsinteressen Prandtls und seiner Mitarbeiter verlagerten sich zunehmend – und wiederum nicht zuletzt unter dem Einfluß von Klein, Böttinger und Althoff – auf die Aerodynamik. Bereits vor dem Ersten Weltkrieg wurde der Plan ins Auge gefaßt, in Göttingen ein Kaiser-Wilhelm-Institut zu schaffen, das sich beiden Bereichen der Strömungsmechanik sowohl theoretisch als auch experimentell widmen sollte. Der Beginn des Ersten Weltkriegs legte diese Pläne auf Eis, aber dafür wurde in einer konzertierten Aktion von Kultusministerium, KWG, Heeres- und Marineverwaltung die sog. Modellversuchsanstalt für Aerodynamik geschaffen, die während des Krieges „den aus der Kriegslage sich ergebenden praktischen und militärischen Bedürfnissen“ dienen sollte.¹⁵ Bei Kriegsende war ein hochmodernes Forschungsinstitut fast fertiggestellt, mit gut ausgestatteten Windkanälen und Meßeinrichtungen und einer Reihe weiterer hochkarätiger Mitarbeiter, unter welchen vielleicht der junge Max Munk hervorrage, der kurz nach Kriegsende in die USA auswanderte und dort zur Etablierung der theoretischen Aerodynamik beitrug.¹⁶ Die Kriegsjahre brachten auch einen großen theoretischen Durchbruch der Göttinger Luftfahrtforschung, die sog. Tragflügeltheorie, die Prandtl kurz vor dem Ersten Weltkrieg in Ansätzen konzipiert hatte und bis 1918 mit seinen Mitarbeitern, v. a. Betz und Munk, zu einer höchst erfolgreichen Mathematisierung der Strömungsvorgänge an einem mit Unterschallgeschwindigkeit bewegten Tragflügel ausgebaut hatte.

Die Weimarer Jahre, in denen Deutschland der Unterhalt von Luftstreitkräften durch den Versailler Vertrag untersagt war, führten zum Rückzug der Militärbehörden aus dem Göttinger Institut und damit in eine Phase verzögerter Expansion. Im Jahr 1925 wurde die Versuchsanstalt endgültig in ein Doppelinstitut der KWG überführt: Es entstand das „Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, verbunden mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt“ (AVA). Direktor war Ludwig Prandtl, stellvertretender Direktor Albert Betz. Der erste leitete die Abteilung für Strömungsforschung, der zweite die AVA, die nun auch viele industriell finanzierte Forschungsaufträge ausführte.

Erst der Übergang in die NS-Zeit erlaubte den Göttinger Luftfahrtforschern, wieder an die starke Expansion der Zeit des Ersten Weltkrieges anzuknüpfen. Dabei spielte von seiner Gründung an das Reichsluftfahrtministerium die entscheidende Rolle. Neue Bauvorhaben für experimentelle Einrichtungen und ein Ausbau des Personalbestands wurden bereits 1933 genehmigt. Ein sprechendes Dokument der Aufbruchsstimmung dieser Zeit ist eine Rede, die Prandtl anlässlich der Feier des ersten Spatenstichs zum neuen Windkanal der AVA im Mai

15 Verständigung über die Errichtung einer Modellversuchsanstalt und deren Eingliederung in das zu errichtende Kaiser-Wilhelm-Institut für Aerodynamik und Hydrodynamik, Entwurf vom Juni 1915, zit. nach Rotta, Aerodynamische Versuchsanstalt, S. 136 f.

16 Zu Munks Karriere vgl. John D. Anderson Jr., A History of Aerodynamics and its Impact on Flying Machines, Cambridge 1997, S. 289-292.

1934 hielt. Man sollte die folgenden Auszüge in der Vorstellung der weihevollen Atmosphäre dieses Ereignisses lesen:

„Heute sollen die Bauarbeiten beginnen an einem Werk, das bestimmt ist, der Luftfahrtforschung in Deutschland neue Entwicklungsmöglichkeiten zu geben [...]. Deutschland hat in dieser Richtung gegenüber dem Auslande viel nachzuholen. Ganz abgesehen von den Behinderungen, die der Versailler Vertrag brachte, hatten die deutschen Nachkriegsregierungen für den Satz ‚Luftfahrt tut not‘ keine besondere Meinung. [...] Die Lage änderte sich erst nach der Machtergreifung der NSDAP, durch die Schaffung eines Reichskommissariats für Luftfahrt, aus dem später das Reichsluftfahrtministerium wurde. [...] Unsere Darlegungen, daß wir der Luftfahrt viel besser dienen könnten, wenn wir nicht mit veralteten, d.h. im wesentlichen zu kleinen Einrichtungen, sondern mit zeitgemäß vergrößerten und verfeinerten, arbeiten könnten, fanden jetzt willige Ohren. Unsere Wünsche waren garnicht bescheiden, aber wir durften mit Genugtuung feststellen, daß dem neuen Ministerium gerade das Beste gut genug war. [...] Nun ist es also so weit, daß die Arbeit auf dem Bauplatz begonnen werden kann und durch vieler Hände Mühen das in Eisen und Stein erstehen soll, was wir und eine Schar von Helfern ausgedacht und berechnet haben. Möchte ein guter Stern über der Arbeit walten und möchte das Werk gelingen zum Nutzen der deutschen Luftfahrt. Das walte Gott!“¹⁷

Um diese Zeit hatte das Göttinger Doppelinstitut auch die charakteristischen personellen Turbulenzen des Machtwechsels von 1933 schon weitgehend hinter sich. Beschäftigte jüdischer Herkunft hatte es keine gegeben.¹⁸ Dafür zog sich durch die Jahre 1933 und 1934 eine merkwürdige Affäre der Denunziation, die von einigen in einer NS-Betriebszelle zusammengeschlossenen, führenden Mitarbeitern Prandtls ausging und gegen einen russischen Mitarbeiter, Johann Nikuradse, gerichtet war. Nikuradse hatte jedoch selbst beste Verbindungen zur SS, und Prandtl hatte alle Hände voll zu tun, um zu verhindern, daß seine Mitarbeiter ihrerseits das Institut verlassen mußten. Anders als manchmal zu lesen war seine eigene Stellung jedoch zu keinem Zeitpunkt durch diese Affäre bedroht.¹⁹

Die massive Expansion der AVA, die für die KWG zunehmend zur finanziellen Belastung wurde, führte schließlich im Jahr 1937 zur Trennung der AVA vom KWI für Strömungsforschung. Die AVA wurde unter Leitung von Albert Betz direkt dem RLM unterstellt und der militärischen und industriellen Auftragsforschung gewidmet, die Abteilung für Strömungsforschung in ein formell eigenständiges Kaiser-Wilhelm-Institut umgewandelt. Gegenüber der AVA hatte das

17 Rede von Professor Prandtl anlässlich der Feier des ersten Spatenstichs zum neuen Windkanal, 7.5.1934, MPG-Archiv, I, 1A/1476. Hervorhebung im Original.

18 In mindestens einem Fall wurde jedoch einem Techniker, Otto Nagel, gekündigt, weil dessen „politische Gesinnung [...] nicht einwandfrei“ gewesen sei und er sich im Juli 1933 mit einer Jüdin verheiratet hatte „trotzdem er das Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums kannte“, vgl. Betz u. a. an die Generalverwaltung der KWG, 7.12.1933, MPG-Archiv, I, 1A/1476.

19 Diese Behauptung wurde z.B. von Prandtls zeitweiligen Mitarbeitern Klaus Oswatitsch und Karl Wieghardt gemacht, vgl. dies., Ludwig Prandtl and his Kaiser-Wilhelm-Institut, in: Annual Review of Fluid Mechanics 19, 1987, S. 1-25. Für kritischere Darstellungen vgl. Tollmien, Kaiser-Wilhelm-Institut, S. 693-695; Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 189-192. Die umfangreichen Akten zu diesem Vorgang im Archiv der MPG gestatten jedoch eine noch genauere Analyse dieser Affäre.

Bilanzen des KWI für Strömungsforschung²⁰

Rechnungsjahr	Σ	Personal	KWG	Sondermittel/ Herkunft
1931/32 AVA	396.885,-	225.906,-	126.000,-	31.885,- / RVM 115.448,- / privat
1932/33 "	301.184,-	202.865,-	130.000,-	14.832,- / RVM 69.388,- / privat
1933/34 "	370.144,-	222.927,-	190.000,-	52.172,- / RLM 97.359,- / privat
1933/34 KWI-S	77.883,-	47.163,-	48.712,-	17.053,- / (k. A.)*
1934/35 "	63.136,-	47.723,-	48.712,-	12.297,- / (k. A.)*
1935/36 "	74.940,-	42.758,-	48.712,-	5.663,- / (k. A.)*
1936/37 "	87.281,-	54.300,-	49.000,-	19.759,- / (k. A.)*
1937/38 "	200.891,-	86.580,-	77.000,-	63.140,- / Ministerien 47.777,- / Aufträge
1938/39 "	234.962,-	117.580,-	77.000,-	66.103,- / Ministerien 14.000,- / Industrie 61.938,- / Aufträge
1939/40 "	196.289,-	124.307,-	77.500,-	57.000,- / Ministerien 14.000,- / Industrie 29.935,- / Aufträge
1940/41 "	177.830,-	133.255,-	72.500,-	51.839,- / Ministerien 28.170,- / Aufträge
1941/42 "	242.779,-	164.952,-	87.800,-	60.855,- / Ministerien 80.613,- / Aufträge
1942/43 "	223.819,-	171.500,-	72.000,-	85.494,- / Ministerien 32.982,- / Aufträge
1943/44 "	316.162,-	195.420,-	60.000,-	134.665,- / Ministerien 98.843,- / Aufträge

* keine Angabe

20 Nach den Bilanzen und Vermögensübersichten der AVA und des KWI für Strömungsforschung (in der Tabelle abgekürzt KWI-S), MPG-Archiv, I, 1A/1496-1503. Σ bedeutet die jährliche Bilanzsumme des jeweiligen Etats (Personal- und Sachmittel). Ein weiterer, in der Übersicht nicht berücksichtigter Bilanzposten waren Vermögensänderungen der Institute; dazu kamen verschiedene kleinere Posten. Alle Angaben in RM.

KWI für Strömungsforschung einen eher bescheidenen Haushalt und Personalstand. Nicht zuletzt diese Tatsache hat wohl dazu beigetragen, daß das Augenmerk der Historiker sich für die Zeit ab 1937 vor allem auf die AVA richtete. So ist etwa für Trischler die AVA eines der maßgeblichen Beispiele für die während des Krieges in Deutschland entstehenden Einrichtungen der „Großforschung“. Ludwig Prandtl, der Direktor des KWI für Strömungsforschung, wird meist in seiner Funktion als hochrenommierte Repräsentationsfigur der deutschen Luftfahrtforschung und späteres Mitglied der sog. Forschungsführung des RLM diskutiert.²¹ Im folgenden beschäftige ich mich im Unterschied zu solchen Perspektiven gerade mit den Forschungsaktivitäten am KWI für Strömungsforschung etwas näher, soweit sie aus den Dokumenten im Nachlaß Prandtls rekonstruierbar sind. Zur AVA wird dagegen nur wenig gesagt.

Struktur

Zunächst einige Worte zur Struktur des Prandtlschen Instituts. Nach der Trennung von der AVA wurde das KWI um neue Versuchsanlagen erweitert und das Personal vergrößert. Bis Kriegsbeginn führte das in etwa zur Verdopplung gegenüber der früheren Abteilung für Strömungsforschung innerhalb des Doppelinstitutes. Im Frühjahr 1939 waren 18 wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt, die an sieben getrennten Projekten arbeiteten. Dazu kommt eine mir unbekannt Zahl von Technikern, Arbeitern und Verwaltungsangestellten.²² Wie bereits in früheren Jahren achtete Prandtl darauf, daß ihm sowohl geschickte Experimentatoren und Techniker als auch mathematisch versierte Mitarbeiter für die rechnerischen und theoretischen Aufgaben zur Verfügung standen. Dieselbe Arbeitsteilung läßt sich, wie bald deutlicher werden wird, auch in den durchgeführten wissenschaftlichen Projekten verfolgen.

Genaue Daten über die weitere personelle Entwicklung des Instituts habe ich nicht zusammenstellen können. Dafür läßt sich die Entwicklung des Haushalts vollständig rekonstruieren (vgl. Tabelle links). Aus ihr sind Rückschlüsse auch auf die personelle Entwicklung des KWI für Strömungsforschung möglich.

Für die Jahre 1932 bis 1934 sind zum Vergleich auch die Gesamtdaten des Doppelinstituts KWI für Strömungsforschung/AVA angegeben. Sie zeigen, daß bei der Trennung das Größenverhältnis der Institute etwa 1:5 betrug. Auch wenn das KWI für Strömungsforschung danach stetig wuchs, vergrößerte sich der Abstand zur AVA deutlich. Die AVA hatte bei Kriegsbeginn bereits rund 350 wissenschaftliche Mitarbeiter, Ingenieure und Techniker; dazu kamen fast noch einmal so viele Verwaltungsangestellte und Arbeiter. Im Jahr der Trennung standen der AVA rund 4 Mio. RM allein für Neubauprojekte zur Verfügung.²³ Einige Monate nach Kriegsbeginn beantragte die AVA einen Ausbauplan von

21 Neben den angegebenen Arbeiten von Tollmien und Trischler vgl. auch Burghard Ciesla, Abschied von der „reinen“ Wissenschaft. „Wehrtechnik“ und Anwendungsforschung in der Preußischen Akademie nach 1933, in: Wolfram Fischer u. a. (Hg.), Die Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1914–1945, Berlin 2000, S. 483–513.

22 Tätigkeitsbericht des KWI für Strömungsforschung für 1938/1939, MPG-Archiv, I, 44/43.

23 Statistik im MPG-Archiv, I, 1A/1480; Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 202.

28,7 Mio. RM, dessen Kernpunkte in einen Gesamtentwicklungsplan des RLM übernommen werden.²⁴

Bei diesen relativierenden Angaben ist freilich zu berücksichtigen, daß die personell und sächlich erforderlichen Mittel eines Instituts stark vom jeweiligen Aufgabengebiet abhingen. Während die eng mit Flugzeugfirmen kooperierende AVA große Versuchsanlagen und entsprechendes Personal benötigte, kam das KWI für Strömungsforschung aufgrund seiner Forschungsrichtung auch mit deutlich kleineren Anlagen aus. Aufschlußreich sind deshalb vor allem die relativen Daten der Haushaltsentwicklung des KWI für Strömungsforschung mit Bezug auf das Jahr 1933 bzw. das Jahr der Trennung von der AVA. Wie die Tabelle zeigt, wuchsen die Personalausgaben kontinuierlich, sogar in den ersten beiden Kriegsjahren, in denen die Bilanzsumme des Instituts etwas absank. Bei Kriegsende lagen sie bei knapp dem doppelten Stand des Rechnungsjahrs 1938/39. Vergleicht man ferner die Entwicklung der Bilanzsumme mit dem Zuschuß der KWG, so wird deutlich, daß im Verlauf des Krieges ein immer größerer Teil der Institutsausgaben aus anderen Quellen finanziert wurde. Der KWG-Zuschuß deckte bei Kriegsende nicht einmal mehr ein Drittel der Personalausgaben. Zur Hauptgeldquelle des KWI für Strömungsforschung wurde, wie für die AVA, seit deren institutioneller Trennung das Reichsluftfahrtministerium. Dazu kamen nennenswerte Beträge vom Oberkommando der Marine (OKM) und Aufträge recht stark schwankenden Umfangs aus Industrieunternehmen. Für das Rechnungsjahr 1944/45 fand sich zwar keine Gesamtbilanz mehr, aber es ist davon auszugehen, daß die Entwicklung in derselben Richtung weiterging. So erhöhte sich beispielsweise der Zuschuß aus dem RLM von 111.000,- RM für 1943/44 auf (mindestens) 128.000,- RM für 1944/45.²⁵ Die inhaltliche Forschungsarbeit des KWI für Strömungsforschung wurde während des Krieges vermutlich nahezu vollständig durch die Aufträge von Ministerien bzw. Wehrmachtsteilen und (in geringerem Umfang) von den privaten Auftraggebern bestimmt. Dabei überließ Prandtl, der spätestens ab dem Frühjahr 1942 den größten Teil seiner Zeit der Forschungsführung des RLM widmete und im Februar 1945 das Alter von 70 Jahren erreichte, die aktive Forschung mehr und mehr seinen führenden Mitarbeitern. Freilich spielte er in der Konzeption der Forschungsprojekte nach wie vor eine maßgebliche Rolle, die insbesondere die Kontinuität seines theoretischen Zuschnitts der Hydro- und Aerodynamik sicherte.

Die enge Anbindung des KWI für Strömungsforschung an die AVA blieb natürlich auch während des Krieges erhalten. Prandtls Institut stellte seine Versuchsanlagen auf Anweisung des RLM für dringende Projekte der AVA zur Verfügung und nutzte umgekehrt deren hauseigene Publikationsmöglichkeiten (u. a. die sog. AVA-Berichte). Die recht restriktiven Geheimhaltungsvorschriften für die AVA (etwa die Unzugänglichkeit für Ausländer) wurden auf das KWI für

24 Ebd., S. 263 f. Der Plan findet sich in einer Denkschrift Baeumkers vom 30.10.1940 mit dem Titel „Neue Forschungseinrichtungen für den Bereich des Generalluftzeugmeisters“. Er wurde bis Kriegsende nur teilweise realisiert. Zum Vergleich sind vielleicht auch die staatlichen Finanzmittel für den RFR und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) interessant. Sie betragen 1939 zusammen 7,1 Mio. RM, 1940 und 1941 jeweils 6 Mio. RM, 1942 9 Mio. RM, 1943 allerdings 50 Mio. RM „für besondere Kriegsausgaben“, vgl. Ludwig, Technik, S. 223, 235.

25 Vgl. Kriegsauftrag an das KWI für Strömungsforschung, 20.5.1944, MPG-Archiv, I, 44/52.

Strömungsforschung ausgedehnt, um die interne Kommunikation und gegenseitige Nutzung von Versuchsanlagen und Wissensressourcen offener gestalten zu können.

Profil

Welches Profil besaß Prandtls Institut in der wissenschaftlichen Landschaft der Vorkriegs- und Kriegsjahre? In der Literatur erscheint zur Kennzeichnung der Forschungsaktivitäten am KWI für Strömungsforschung nach 1937 mehrfach das Prädikat der Grundlagenforschung, mit dem auch schon die historischen Akteure nach Kriegsende gerne arbeiteten. Typisch ist z.B. folgende Äußerung Trischlers:

„In der Tat hatte sich [bis 1939] eine funktionierende Arbeitsteilung zwischen einem beinahe ausschließlich an Problemen der Luftfahrtforschung arbeitenden, organisatorisch differenzierten Forschungszentrum (AVA) und einem von seinem wissenschaftlichen Direktor noch überschaubaren Institut der breitgestreuten Grundlagenforschung (KWI) herausgebildet.“²⁶

Richtig ist, daß am KWI für Strömungsforschung Auftragsforschung für Militär und Industrie nicht in vergleichbarem Maßstab stattgefunden hat wie etwa an der AVA. Außerdem wurden auch in der eigentlichen Forschungsarbeit bis in die Kriegszeit hinein Fragen behandelt, die von grundsätzlichem theoretischen oder experimentellen Interesse für die Hydro- und Aerodynamik waren. Der theoretische Akzent lag dabei auf der Untersuchung von Situationen, in denen die innere Reibung des strömenden Mediums eine Rolle spielte, sei es in der Grenzschicht einer Strömung in unmittelbarer Nähe von umströmten Körpern (Tragflügel, Schiffswände, Rohre, Erdoberfläche), sei es in Fragen turbulenter Bewegung von Gasen und Flüssigkeiten. Insbesondere thermodynamische Effekte fanden das grundsätzliche Interesse Prandtls und seiner Mitarbeiter; hier war auch die Meteorologie ein zentrales Anwendungsgebiet. Der experimentelle Schwerpunkt entsprach diesen theoretischen Interessen. Prandtl war dabei besonders daran gelegen, nicht nur die Dynamik von Luftströmungen, sondern auch die von Flüssigkeiten zu studieren und sich die wechselseitige Aussagekraft von Versuchen in Wasser- und Windkanälen zunutze zu machen.

Diese grundsätzlichen Interessen schlossen aber, wie unten gezeigt wird, zum einen nicht aus, daß sehr spezifische, kriegsrelevante Fragen bearbeitet wurden. Zum anderen, und darauf möchte ich im folgenden einen besonderen Akzent setzen, trägt die Entgegensetzung von angewandter Kriegsforschung und sogenannter Grundlagenforschung. Wenn implizit unterstellt wird, daß Grundlagenforschung – etwa aufgrund ihres langfristigen Zeithorizonts – militärischen Anwendungen und dem Krieg fern stehe, so wird vergessen, daß auch die konkret technologisch ausgerichtete Kriegsforschung selbst in bestimmtem Sinn stets eine „Grundlage“ brauchte. Projekte wie die Entwicklung eines Großflugzeugs, eines die Schallgrenze erreichenden oder überschreitenden Jägers, eines schnellen selbststeuernden Torpedos oder einer ballistischen Rakete erforderten funktionierende Verfahren, ein Bündel apparativer und epistemischer Techniken, mit

26 Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 203. Differenzierter, aber sehr knapp bei Tollmien, Kaiser-Wilhelm-Institut, S. 697 ff.

denen in den Industrielabors oder auch in den Forschungsanstalten der Luftwaffe, der Marine oder des Heeres gearbeitet werden konnte.²⁷ Solche Techniken lieferten sozusagen die erkenntnispraktische Grundlage der Kriegsforschung. Der entscheidende Punkt ist, daß diese Techniken in den fortgeschritteneren militärtechnologischen Projekten des Zweiten Weltkriegs oftmals nicht fertig zur Hand waren. Sie mußten selbst erst entwickelt werden.

Um ein Beispiel zu geben: Die Strömungsvorgänge um einen Tragflügel mochten im Unterschallbereich in einem Windkanal in verkleinertem Maßstab hinreichend genau simuliert werden können und im großen und ganzen durch die Tragflügeltheorie des Ersten Weltkriegs verstanden sein. Aber wie, mit welchen Apparaten, machte man präzise Messungen der verschiedenen Faktoren, die Auftrieb und Luftwiderstand von Flügeln immer größerer Flugzeuge beeinflussten? Wie konnte z.B. die Turbulenz an Flügeln genau vermessen werden? Wie berechnete man zuverlässig und genau die Dynamik der Grenzschicht für immer neue Flügeldesigns? Und wie war praktisch vorzugehen, wenn es sich um das weder experimentell noch theoretisch gut erschlossene Gebiet des Überschallflugs oder des Flugs nahe der Schallgeschwindigkeit handelte? Wie konnte ein aussagekräftiger Überschall-Windkanal gebaut werden? Hier war die Konstruktion der nötigen Rechen- und Meßtechniken eine keineswegs triviale Aufgabe.

Meine These ist, daß in vielen Fällen die sowohl in der Zeit als auch retrospektiv als Grundlagenforschung bezeichnete Forschung in genau diesem Sinn Grundlagenforschung war: Sie arbeitete an der Bereitstellung neuer oder besserer apparativer und epistemischer Techniken, die andernorts in technologischen Entwicklungsprojekten gebraucht wurden. Diese These trifft jedenfalls auf einen großen Teil der Forschungsaktivitäten am KWI für Strömungsforschung zu. Nimmt man diesen Teil zusammen mit jenem, der in einem noch unmittelbaren Sinn kriegsrelevant war, so bleibt nicht mehr viel übrig – vielleicht ein wenig von Prandtls Meteorologie.²⁸

Bevor diese These näher ausgeführt wird, sei noch auf eine weitere Funktion hingewiesen, die das KWI für Strömungsforschung und sein Direktor mehrfach übernahmen, nämlich eine Gutachter- bzw. Beratungsfunktion für eine Reihe von staatlichen, militärischen und privaten Auftraggebern. Unter anderem wurden solche Gutachten vor dem Krieg für ein von NSDAP und REM unterstütztes Projekt zur Aufforstung der Rhön (das KWI für Strömungsforschung sollte prüfen, wie am besten eine Verringerung des Windes über landwirtschaftlichen Flächen erreicht werden konnte) und für die Deutsche Reichsbahn (hier ging es um die Entlüftung von Tunneln) erstellt.²⁹ Als Beispiel dafür, daß diese Beratungstätigkeit auch schon vor Kriegsbeginn bis in die Rüstungsindustrie reichte, kann ein Vorgang aus dem Frühjahr 1939 dienen. Am 2. Februar dieses Jahres wandte sich ein Dr.-Ing. J. F. Roth von den Lignose Sprengstoffwerken mit einem geheimen Einschreiben an Prandtl:

27 Hier greife ich Kategorien Hans-Jörg Rheinbergers auf, vgl. im Detail weiter unten.

28 Zu Prandtls meteorologischen Forschungen vgl. z.B. Hermann Schlichting, *An Account of the Scientific Life of Ludwig Prandtl*, in: *Zeitschrift für Flugwissenschaften* 23, 1975, S. 297-316.

29 Vgl. diesbezügliche Korrespondenz im MPG-Archiv, I, 44/55-58.

„In der großtechnischen Erzeugung des wichtigsten militärischen Sprengstoffes, des Trinitrotoluols, sind schon häufig beim Fördern des geschmolzenen Sprengstoffes durch Drücken folgenschwere Unfälle vorgekommen, die zum Ausfall militärisch wichtiger Erzeugungsstätten geführt haben. Trotzdem dieser Sprengstoff schon mit der Jahrhundertwende großtechnisch hergestellt wird, fehlte bis zur Zeit eine Erklärung dieser Unfälle.

In der Beilage erhalten Sie einen von mir stammenden, kurz skizzierten Deutungsversuch. Im Interesse der heereswichtigen Angelegenheit bitte ich Sie um eine Besprechung zwecks Förderung des gesamten Problems. Ich bitte Sie um Festsetzung der passenden Zeit und um die erforderliche Geheimhaltung.“³⁰

Roths Erklärungsversuch ging davon aus, daß es sich um einen Kompressions-effekt (Stoßverdichtung, sog. Allievi-Stoß) in den Transportrohren handelte, der zur Erwärmung des flüssigen Sprengstoffs und dadurch zu seiner Zündung führte. Bereits vier Tage später antwortete Prandtl ausführlich auf Roths Schreiben.³¹ Er hatte dasselbe gründlich studiert und teilte mit, daß der hydrodynamische Teil der Rothschen Analyse des Problems korrekt war, nicht jedoch der thermodynamische (hier handelte es sich um ein besonderes Kompetenzgebiet des Göttinger Instituts). Roths Rechnung hatte die thermischen Effekte viel zu stark abgeleitet. Stattdessen schlug Prandtl zwei andere mögliche Erklärungen vor: 1) Der in den Rohren auftretende Druckstoß könnte zu Reibungen zwischen Rohrteilen führen und dadurch eine winzige Sprengstoffmenge auf Zündtemperatur bringen; 2) kurz vor einem Druckstoß könnte hinter einem Rohrengpaß Kavitation auftreten. Dabei handelt es sich um Folgendes: Bei großen Druckdifferenzen in einer Strömung kann eine Flüssigkeit auseinanderreißen, es bilden sich Hohlräume, sog. Kavitationsblasen, die möglicherweise sofort durch Dampf gefüllt werden. Hier liegt also ein Phasenübergang des Mediums vor. Dementsprechend ist Kavitation oft mit instabilen Phänomenen verbunden. Insbesondere können lokal sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, deren thermische Wirkung im vorliegenden Fall vielleicht gefährlich werden konnte. Prandtl deutete eine Anordnung an, mit deren Hilfe das Auftreten dieses zweiten Phänomens experimentell untersucht werden konnte.

Am 22. April wandte sich Roth erneut an Prandtl: Er hatte versucht, aus Prandtls Andeutung eine funktionierende Apparatur zu machen.³² Das war keine triviale Aufgabe, denn es mußte ja ein kontrollierter Druckstoß in flüssigem Sprengstoff erzeugt werden, der einerseits Kavitationsblasen bilden konnte, andererseits nicht explodieren und die Apparatur zerstören durfte. Dazu kam, daß selbst für weniger gefährliche Flüssigkeiten Kavitationsexperimente nur gemacht worden waren, sofern es sich um Flüssigkeiten mit kleiner Zähigkeit handelte (in der Regel: Wasser). Die naheliegende Idee, nur mit sehr kleinen Mengen zu arbeiten, stieß an die Grenze der Beobachtbarkeit des zu untersuchenden Phänomens der Kavitation, da dann die Gesamtdauer des Versuchs leicht bei Bruchteilen einer Sekunde liegen konnte. Prandtl gab in seiner Antwort noch einmal Ratschläge für die Gestaltung der Apparatur und bekundete sein Interesse an weiteren Mitteilungen „besonders über die Kavitationsversuche“.³³ Die Fortsetzung und

30 Roth an Prandtl, 2.2.1939, MPG-Archiv, I, 44/53.

31 Prandtl an Roth, 6.2.1939, MPG-Archiv, I, 44/53.

32 Roth an Prandtl, 22.4.1939, MPG-Archiv, I, 44/53.

33 Prandtl an Roth, 25.4.1939, MPG-Archiv, I, 44/53.

Übersicht über die staatlichen Forschungsaufträge für das KWI für Strömungsforschung, 1937–1945³⁴

Ab 1937:	Berechnungsverfahren für das Verhalten der laminaren Grenzschicht; Bearbeiter am KWI für Strömungsforschung: Prandtl, Tollmien, Görtler.
	Totwasser und Widerstand: experimentell, z. T. Turbulenzmessungen, geleitet von Prandtl und Betz.
	Turbulenzuntersuchungen: Schwankungsmessungen in turbulenten Strömungen, geleitet von Reichardt; Untersuchung Turbulenz hinter einem Stabgitter.
	Bereits seit 1935 lief ein Versuchsprogramm zur Bestimmung des Reibungswiderstands von Schiffsplatten für das Oberkommando der Marine („Rauhigkeitskanal“).
Ab Oktober 1939:	Bau neuer Versuchseinrichtungen: kleiner Windkanal, Umbau des Rauhigkeitskanals.
	Untersuchung des laminar-turbulenten Umschlags: experimentell, geleitet von Reichardt, und theoretisch, geleitet von Görtler.
	Bau von Turbulenzmeßgeräten, geleitet von Reichardt. (Die letzten beiden Vorhaben ersetzen die früheren Turbulenzuntersuchungen.)
Ab 1941:	Mehrere Teilprojekte zur Hochgeschwindigkeits-Aerodynamik, zunächst theoretische und experimentelle Untersuchungen über Vorgänge in Überschall-Windkanälen, später auch über die Umströmung raketenförmiger Körper; führende Mitarbeiter: Oswatitsch, Frössel.
Ab 1942:	Bau einer neuen Kavitationsanlage, mehrere Teilprojekte zur Kavitation an Flugzeugen, Unterwassergeschossen und Torpedos; führender Mitarbeiter: Reichardt. (Diese Projekte wurden z. T. im Auftrag der Kriegsmarine durchgeführt.)
Ab 1943:	Untersuchungen von Flugzeugkühlern; geleitet von Schuh.

³⁴ Nach verschiedenen Tätigkeitsberichten des KWI für Strömungsforschung, MPG-Archiv, I, 44/43-49. Für Einzelheiten vgl. das Folgende.

der Ausgang dieser Episode sind mir leider unbekannt. Zu späteren Adressaten Prandtlscher Ratschläge gehörten z. B. die Amtsgruppe N Wa der Kriegsmarine, die (auf dem Weg eines Rundschreibens des Oberbefehlshabers der Kriegsmarine an alle Universitäten) um Hilfe bei der akustischen Tarnung von U-Booten bat, oder die Buna-Werke in Schkopau bei Merseburg.³⁵

RECHNEN UND MESSEN: DIE KRIEGSAUFTRÄGE

Damit kehre ich zu meiner Hauptfrage zurück: In welchem Sinn und in welchen Formen konnte „Grundlagenforschung“ zugleich Kriegsforschung sein? Wie konnte das Forschungsprogramm eines Institutes mit dem Profil des KWI für Strömungsforschung an die Rahmenbedingungen von Aufrüstung und Krieg angepaßt werden? Im folgenden sollen die obigen Thesen anhand der Kriegsaufträge des Prandtlschen Instituts näher erläutert werden. Es folgt zunächst eine Übersicht über diese Aufträge und ihre militärische Relevanz. Danach gehe ich auf einige Forschungsaufträge näher ein.

Übersicht

Die ersten Aufträge aus Ministerien der NS-Regierung und von der Marineleitung kamen spätestens im Jahr 1935. In diesem Jahr strich die unter der Leitung von Rudolf Mentzel neuorganisierte Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ihre Zuschüsse an die Abteilung für Strömungsforschung im Wert von etwa 30.000,- RM jährlich für Forschungen auf dem Gebiet der Turbulenz, der Meteorologie und der Kavitation. Prandtl hoffte zunächst darauf, daß die KWG den Etat seines Instituts entsprechend aufstocken würde. Auf Vorschlag des Generalsekretärs, Ernst Telschow, sollte dabei ein Schreiben Adolf Bäumkers aus dem RLM helfen, in dem auf die „Wichtigkeit [der Prandtlschen] Arbeiten im Interesse der Landesverteidigung“ hingewiesen würde.³⁶ In Prandtls Antrag an die KWG taucht dieses Motiv in charakteristischer Verschränkung mit dem Stichwort der Grundlagenforschung auf:

„Die Arbeiten [der Abteilung für Strömungsforschung] sind der generellen Erforschung der fundamentalen Strömungsgesetze gewidmet. [Es folgen die Themengebiete: Turbulenz, Kavitation, Gasdynamik, Strömungen zäher Flüssigkeiten.] Die erhaltenen Gesetzmäßigkeiten haben einen weiten Anwendungsbereich in der Technik und sind auch geeignet, die Zweckforschung auf dem Gebiet der Flugtechnik, des Schiffbaues, der Strömungsmaschinen sowie auch der Ballistik richtunggebend zu befruchten. Es liegt daher ein allgemeines Staatsinteresse vor, besonders aber ein Interesse der Landesverteidigung, die in der Abteilung für Strömungsforschung betriebenen Arbeiten zu fördern.“³⁷

35 Vgl. diesbezügliche Korrespondenz im MPG-Archiv, I, 44/53 und I, 44/357. Über den Buna-Vorgang habe ich im Prandtl-Nachlaß bislang nichts näheres finden können.

36 Vgl. Prandtl an Bäumker im RLM, 3.7.1935, und Prandtl an Generalverwaltung der KWG, 6.7.1935, beides MPG-Archiv, I, 1A/1499.

37 Prandtl an Generalverwaltung der KWG, 6.7.1935, MPG-Archiv, I, 1A/1499.

Die KWG kam Prandtls Antrag jedoch nicht sofort nach. Die starke Expansion der AVA hatte die finanzielle Unterstützung der KWG für die Göttinger Institute bereits in Frage gestellt. Erst nach der Trennung von der AVA, im Rechnungsjahr 1937/38, stieg der Zuschuß der KWG an das KWI für Strömungsforschung wieder an. Zur selben Zeit sprang der Zuschuß aus den Ministerien des NS-Staates auf eine Summe, die bereits über dem KWG-Zuschuß des vorangegangenen Rechnungsjahres lag. Dabei konnte der gute Kontakt, den Prandtl bereits seit der späten Weimarer Zeit nicht nur zu Adolf Baeumker hatte, sondern auch zum neuen Staatssekretär des Göringschen Ministeriums und früheren Vorstandsmitglied der Lufthansa, Erhard Milch, nur helfen. Auch Prandtls Engagement in der Kriegsforschung des Ersten Weltkrieges war natürlich unvergessen.³⁸

Wie die ersten Tätigkeitsberichte für das Reichsluftfahrtministerium zeigen, waren die Forschungsprojekte bereits zu diesem Zeitpunkt von einer deutlichen Ambivalenz zwischen allgemeinen theoretischen Fragen und der Entwicklung konkreter Rechen- und Meßverfahren für den aerodynamischen Forschungsalltag geprägt. Im Herbst 1937 wurde an folgenden Themen für das RLM gearbeitet, meist in Kooperation mit verwandten Projekten an der AVA:³⁹ (1) Berechnungsverfahren für das Verhalten der laminaren Grenzschicht. Leitende Bearbeiter am KWI für Strömungsforschung waren Prandtl, Walter Tollmien und der junge Mathematiker Henry Görtler. (2) Totwasser und Widerstand; hier handelte es sich um experimentelle Untersuchungen, z.T. um Turbulenzmessungen, die von Prandtl und Betz geleitet wurden. (3) Untersuchungen von Schwankungen in turbulenten Strömungen; Bearbeiter waren hier Hans Reichardt und ein Doktorand. Daneben lief bereits seit 1935 ein Versuchsprogramm zur Bestimmung des Reibungswiderstands von Schiffsplatten für das Oberkommando der Marine; die dafür verwendete Versuchsanordnung war ein sog. Rauigkeitskanal, in welchem Wasser an definierten Rauigkeiten vorbeiströmte.⁴⁰ Alle diese Arbeiten fallen unter die Stichworte Grenzschichten und Turbulenz, die Prandtls wissenschaftliche Orientierung auch schon in der Weimarer Periode kennzeichneten. Lediglich das dritte Thema zielte vordringlich auf ein vertieftes theoretisches Verständnis der Turbulenz (welche Umstände führen zur Ausbildung mehr oder weniger periodischer Muster in turbulenten Bewegungen und wie lassen sich solche erkennen?); die Arbeiten für die Marine waren dagegen klar praktisch ausgerichtet.

Nach Kriegsbeginn im Oktober 1939 ordnete das Luftfahrtministerium an, daß „die Arbeitskräfte und die sächlichen Mittel des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung im Kriege der Aerodynamischen Versuchsanstalt zur Verstärkung ihrer Leistungsfähigkeit zur Verfügung stehen“ sollten.⁴¹ Prandtl nahm diese Anordnung zum Anlaß, das „Friedensprogramm“ des KWI für Strömungsforschung auf seine Kriegswichtigkeit hin zu überprüfen. Zu diesem Zeitpunkt fiel ein Teil der Turbulenzuntersuchungen (nämlich Thema 3) als „Grundlagen-

38 Vgl. hierzu Rotta, *Aerodynamische Versuchsanstalt*, S. 117-197; Trischler, *Luft- und Raumfahrtforschung*, S. 101-106.

39 Vgl. den Vierteljahresbericht Nr. 2/37, 2.11.1937, MPG-Archiv, I, 44/44.

40 Näheres zu diesem Programm vgl. unten, Abschnitt „Formen der Kriegsforschung“.

41 Prandtl an Abt. LC 1 im RLM, 20.10.1939, MPG-Archiv, I, 44/45.

forschung“ den neuen Prioritäten zum Opfer.⁴² Dafür beantragte Prandtl Unterstützung für den Bau eines kleinen neuen Windkanals, der auch für die AVA nutzbar sein sollte. Er wurde umgehend bewilligt.⁴³ Bereits ein halbes Jahr später tauchten aber auch Turbulenzfragen wieder in den Anträgen Prandtls an das RLM auf. Freilich wurden sie jetzt in neuer Weise zugespitzt. Untersucht werden sollte zum einen der laminar-turbulente Umschlag von Grenzschichten, eine Frage, „die bereits an mehreren Stellen bearbeitet wird, für die wir aber besondere, der Eigenart unserer Forschungsrichtung angepaßte Beiträge liefern zu können glauben“. Führende Bearbeiter waren Hans Reichardt (leitend), Fritz Schultz-Grunow und Ludwig Prandtl; die Antragssumme betrug 10.000,- RM. Noch einmal dieselbe Summe beantragte Prandtl zum zweiten für die „Entwicklung von Turbulenzmeßgeräten, hauptsächlich zur Bestimmung der Turbulenzstärke in Windkanälen.“ Die vorgesehenen Bearbeiter waren Reichardt und Biedenkopf. Schließlich sollte der Mathematiker Görtler rechnerisch am laminar-turbulenten Umschlag arbeiten (ferner an der transonischen Aerodynamik); hierfür wurde eine Summe von 6.000,- RM veranschlagt.⁴⁴

An dieser Umarbeitung des Forschungsprogramms unmittelbar nach Kriegsbeginn ist erkennbar, wie die theoretischen Kompetenzen des Instituts umgeleitet wurden. Insbesondere verlagerte der wichtigste Mitarbeiter im Bereich der Turbulenzuntersuchungen, Reichardt, seine Aktivitäten von allgemein theoretischen Bemühungen zu der konkreten Frage des laminar-turbulenten Umschlags und zur Entwicklung apparativer Techniken: dem Bau turbulenzarmer Windkanäle und der Konstruktion von Turbulenzmeßgeräten. Damit betrafen beide Projekte freilich auch wichtige apparative Voraussetzungen für das allgemeine Studium von Turbulenzphänomenen.⁴⁵

Die Forschungsaufträge, die am KWI für Strömungsforschung im ersten Kriegsjahr für die AVA durchgeführt wurden, waren teils von unmittelbarer rüstungstechnologischer Bedeutung, teils ebenfalls auf die Verbesserung notwendiger apparativer Techniken ausgerichtet. So wurden u. a. an der gut mit Meßinstrumenten ausgestatteten „Überschallstrecke“ des KWI für Strömungsforschung ballistische Messungen vorgenommen; ein weiteres Vorhaben betraf die Verbesserung des Diffusors für Hochgeschwindigkeits-Windkanäle und die Untersuchung von darin auftretenden Kondensations- und Vereisungsphänomenen.⁴⁶

Im Lauf der Kriegsjahre gewannen zwei weitere Themenbereiche zunehmend Gewicht in den Forschungsaufträgen des RLM für das KWI für Strömungsforschung: die Aerodynamik kompressibler Medien bei hohen Geschwindigkeiten (Gasdynamik) und Kavitation. Erste Ansätze eigener gasdynamischer Arbeiten finden sich 1941, dabei ging es zunächst wieder um die Vorgänge in Windkanälen (verantwortlicher Mitarbeiter war Oswatitsch). Spätestens 1943 war die Untersuchung von Hochgeschwindigkeitsfragen einer der Schwerpunkte des Insti-

42 Vgl. ebd.

43 Prandtl beantragte für diesen „KWI-Windkanal“ 9.000,- RM und 270 kg Aluminiumbleche, vgl. Prandtl an RLM, 20.10.1939, MPG-Archiv, I, 44/45. Die Bewilligung des Metalls erfolgte am 3. November, vgl. Prandtl an RLM, 25.5.1940, MPG-Archiv, I, 44/45.

44 Alles aus Prandtl an RLM, 25.5.1940, MPG-Archiv, I, 44/45.

45 Auch hierzu vgl. Näheres unten, Abschnitt „Formen der Kriegsforschung“.

46 Vgl. Berichtsentwurf „RLM-Programm 1940“, undatiert, MPG-Archiv, I, 44/45.

tuts geworden. Innerhalb dieses Bereichs waren vor allem theoretische und experimentelle Probleme, die durch Strahltriebwerke (Hochgeschwindigkeitsflugzeuge, Raketen, Torpedos) aufgeworfen wurden, Gegenstand mehrerer Forschungsaufträge. Bei manchen hatte das KWI für Strömungsforschung Koordinationsfunktion und vergab Teilaufträge an andere Stellen. Ein Auftrag spricht von einer Kooperation mit den Firmen Junkers, Focke-Wulf, Heinkel, Messerschmidt, Arado und BMW sowie den Forschungsanstalten AVA und Erprobungsstelle Rechlin.⁴⁷ Im Rahmen eines weiteren, eher mathematisch ausgerichteten Auftrags dieser Gruppe bestand eine Verbindung zum Raketenprojekt des Heereswaffenamts an der Heeresversuchsanstalt Peenemünde.⁴⁸ Schließlich war auch die Marine Auftraggeber im Bereich der Strahltriebwerke, hier ging es um Torpedos mit Düsenantrieb. Das Thema der Kavitation interessierte ebenfalls sowohl das RLM als auch das OKM, wie unten im einzelnen ausgeführt wird.

Das KWI bearbeitete somit Forschungsaufträge für alle drei Heeresteile, die inhaltlich z.T. eng miteinander verknüpft waren. Eine aufschlußreiche Notiz in Prandtls Akten vom Januar 1943 über „Arbeiten im Interessenbereich der Kriegsmarine“ sei hier vollständig wiedergegeben, weil sie einerseits diese Vernetzung belegt und andererseits deutlich macht, daß es sich z.T. um militärisch brisante Vorhaben handelte:

„Betr.: Arbeiten im Interessenbereich der Kriegsmarine

Es laufen im KWI verschiedene Arbeiten, die im Interessenbereich der Kriegsmarine liegen:

1. Untersuchung der physikalischen Grundlagen der Kavitation.
2. Untersuchung von Geschößkörpern unter Wasser.
3. Bau einer neuen Kavitationsanlage (die Anlage ist insbesondere für Untersuchungen an Geschöß- bzw. Torpedomodellen gedacht).

Von diesen Arbeiten läuft aber nur Nr. 1 im Auftrage der Marineleitung, Nr. 2 ist ein Industrienauftrag und Nr. 3 wird vom RLM unterstützt.

Zu erwähnen sind noch gelegentliche Beratungen des Marine-Observatoriums in Greifswald über Nebelauflösung.

Hinweis auf frühere Arbeiten:

- a) Grundlegende Untersuchungen über Kavitation an Tragflügeln (Arbeit Otto Walchner)
- b) Messungen von Oberflächenrauigkeiten (Arbeit Karl Wieghardt).⁴⁹

Die meisten in früheren Projekten begonnenen Forschungsaktivitäten wurden bis Kriegsende weitergeführt. Jedenfalls wurden auch für das Rechnungsjahr

47 Vgl. Kriegsauftrag des RLM vom 9.11.1943 und weitere darauf bezügliche Korrespondenz, MPG-Archiv, I, 44/46.

48 In einem Bericht Prandtls an das RLM vom 21.12.1943, MPG-Archiv, I, 44/46, heißt es u.a. zu dem von Oswatitsch und Wolfgang Rothstein bearbeiteten Teilauftrag „3) Entwicklung von Charakteristikerverfahren für nichtstationäre Gasströmung“: „Für die eindimensionale stationäre und instationäre Gasströmung mit Verbrennung in einem Rohr veränderlichen Querschnittes wurden die Grundgleichungen aufgestellt. Für die Rechnung eines Beispiels werden Resultate von Versuchen abgewartet, die zu diesem Zweck augenblicklich im OKH [Oberkommando des Heeres], Heereswaffenamt, durchgeführt werden.“

49 Geheime Notiz vom 22.1.1943, MPG-Archiv, I, 44/46. Die genaue Funktion dieser Aktennotiz ist unklar. Es könnte sich um Stichpunkte für einen (nicht erhaltenen) Bericht des KWI für Strömungsforschung an das RLM oder das OKM handeln, vgl. den parallelen Fall einer Notiz vom August 1943, Anm. 75.

1944/45 noch einmal Mittel beantragt und bewilligt. Einen Eindruck von Art und Umfang der gegen Kriegsende laufenden Forschungsprojekte gewinnt man aus folgendem „Kriegsauftrag“ des RLM für das Rechnungsjahr 1944/45; er blieb der letzte dieser Art.

Auszug aus dem Kriegsauftrag des RLM für das Rechnungsjahr 1944/45

„Namens und im Auftrag des Reichs werden Sie hiermit mit nachstehenden Untersuchungen beauftragt:

A. Hochgeschwindigkeitsfragen (Gasdynamik und Kavitation).

1. Versuche über die Strömung an einer konvexen Wand bei Erreichen oder Überschreiten der örtlichen Schallgeschwindigkeit.
2. Fortführung der rechnerischen Arbeit über den Ort des Verdichtungsstoßes im Zusammenhang mit Grenzschichtvorgängen.
3. Entwicklung von Charakteristikenverfahren für nichtstationäre Gasströmung.
4. Theoretische Untersuchungen über die Umströmung flacher Profile bei hoher Unterschallgeschwindigkeit.
5. Arbeiten an der Kavitationsanlage für besonders kleine Kavitationszahlen.
6. Gestaltung von Gleichdruckkonturen.

B. Fragen der turbulenten Strömung.

7. Versuche zum laminar-turbulenten Umschlag.
8. Untersuchungen über Strahlausbreitung.
9. Entwicklung von Turbulenzmeßgeräten.
10. Frequenz-Eichung von Hitzdrähten.
11. Untersuchungen über Windkanalturbulenz in Hinblick auf das Verhalten von Laminarprofilen in Windkanälen.

C. Verschiedene Aufgaben.

12. Untersuchungen zur Entwicklung von Flugzeugkühlern der Leichtmetall- und Stahlbauart.
13. Experimentelle und theoretische Untersuchungen über Flugzeugölkühler.
14. Berechnung laminarer Grenzschichten.
15. Laminare Grenzschichtrechnungen für hohe Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Stoffwerte.
16. Rechnungen über Schallausbreitung im Bodenwind.
17. Praktische Lagerversuche auf der Grundlage der hydrodynamischen Schmierung.“⁵⁰

50 Kriegsauftrag des RLM vom 20.5.1944, MPG-Archiv, I, 44/52. Eine Summe von 10.000,- oder mehr RM wurde bewilligt für die Vorhaben 1, 5, 6, 9, 12 und 17. Alle Teilaufträge bis auf 7 und 13 erhielten Dringlichkeitseinstufungen des (zu dieser Zeit höchstrangigen) Bereichs SS. Ab August 1944 bestanden dabei folgende Abstufungen innerhalb des Bereichs SS (von höherer zu niedrigerer Priorität): Zi (lediglich für Rüstungszulieferungen, im allgemeinen für Forschungsaufträge nicht erreichbar), 0 bis V; innerhalb der Stufe 0 war auch die Stufe DE („Dringliche Entwicklungen“) angesiedelt, vgl. Auszug aus den Durchführungsbestimmungen, MPG-Archiv, I, 44/52. Prandtls Institut hatte mindestens einen DE-Auftrag für die Kriegsmarine (s.o.). Die RLM-Aufträge an das KWI für Strömungsforschung wurden nach einer Aktennotiz vom 23.11.1944, MPG-Archiv, I, 44/52, wie folgt eingeordnet: sechs Aufträge in Stufe 0, und zwar nach obiger Liste Nr. 2, 4, 6, 8, 11, 15; die beiden Aufträge Nr. 9 und 12 wurden in Dringlichkeitsstufe I eingeordnet; alle weiteren besaßen Dringlichkeitsstufe II.

Formen der Kriegsforschung

Natürlich muß die Frage gestellt werden, in welchem Sinn die im letzten Abschnitt genannten Kriegsaufträge von militärischem Interesse waren bzw. ob sie ggf. Auswirkungen auf die Kriegführung besaßen. Etliche der in den Anträgen und Aufträgen genannten Teilprojekte hätten ihren Titeln nach ebensogut in Forschungsprogrammen von Friedenszeiten stehen können. Hier hilft nur ein Blick auf die tatsächlich geleistete Arbeit weiter. Im nächsten Schritt möchte ich deshalb die Überlegungen über die Anpassung der sog. Grundlagenforschung an die Kriegsbedingungen weiterführen, indem ich zwischen drei Formen kriegsrelevanter Forschung am KWI für Strömungsforschung unterscheide: 1) finalisierte Forschung mit Grundlagenaspekten; 2) Entwicklung von Rechentechniken; 3) Entwicklung von Meßtechniken und -apparaturen. Für jede Form gehe ich auf ein oder zwei exemplarische Beispiele ein.

Finalisierte Forschung

Als erstes sei eine Serie von experimentellen Untersuchungen diskutiert, die zwischen 1935 und 1941 im Auftrag der Kriegsmarine durchgeführt wurden, nämlich die bereits erwähnten „Rauhigkeitsversuche“ an Schiffsplatten. Die formelle Initiative für diese Versuche ging nach Vorgesprächen mit Vertretern der Marine vom KWI für Strömungsforschung aus. Im März 1935 sandte Prandtl einen im wesentlichen von seinem Mitarbeiter Hermann Schlichting ausgearbeiteten Projektantrag an die Marineleitung.⁵¹ In einem neu gebauten, speziell gestalteten Wasserkanal sollten verschiedene verkleinerte Muster von Schiffsplatten mit Rauhigkeiten wie Nieten oder Stoßüberlappungen in die Wand eingebaut werden, um die längs der Platten auftretenden Widerstandskräfte zu messen.

Die wissenschaftliche Vorgeschichte dieses Projekts reicht in die Weimarer Zeit zurück. Rechnerisch genau bestimmen ließ sich zunächst nur der Widerstand glatter Platten. Wie Prandtl und Schlichting in ihrem Antrag betonten, führten Rauhigkeiten jedoch in der Praxis zu Widerstandserhöhungen von bis zu 50 %. Im Jahr 1932 hatte Prandtl aufgrund von Messungen seines Mitarbeiters Nikuradse an künstlich aufgerauhten Rohren erste Vorschläge zur theoretischen Behandlung des Widerstands rauher Platten gemacht. Dabei wurde aber nur von sehr einfachen Annahmen über die Art der Rauhigkeiten ausgegangen (im wesentlichen davon, daß es sich um sandkornartige Rauhigkeiten handelte).⁵² An just diesem Punkt sollte das neue Projekt weiterarbeiten. Dem Antrag beigelegt war eine Sammlung verschiedener Entwurfszeichnungen für ggf. zu untersuchende Platten mit verschiedenartigen Rauhigkeiten.

Der Vertreter der Marineleitung, Ministerialrat Burkhardt, ließ sich nach etlichen Rückfragen vom Sinn der Versuche überzeugen. Er hatte zunächst Bedenken, ob eine Übertragung der Versuche in kleinem Maßstab auf die tatsächlichen Verhältnisse am Schiff oder U-Boot gelingen könne. Prandtl versicherte

51 Prandtl an Ministerialrat Burkhardt, 9.3.1935, MPG-Archiv, I, 44/69.

52 Vgl. Ludwig Prandtl und Hermann Schlichting, Das Widerstandsgesetz rauher Platten, in: Werft, Reederei, Hafen 15, 1934, S. 1-4, auch in: Ludwig Prandtl, Gesammelte Abhandlungen, hg. von Walter Tollmien, Hermann Schlichting und Henry Görtler, 3 Bde., Berlin 1961, hier Bd. 2, S. 649-662.

ihm, daß dafür geeignete Umrechnungsverfahren bestanden. Burkhardt entschied, daß die Versuche durchgeführt wurden und daß die Schiffswerften der Marine die zu messenden Platten anfertigen würden. Die ursprünglich vorgeschlagene Liste der Rauigkeiten wurde den Bedürfnissen der Marine entsprechend abgeändert (z. B. wurden Kopfnieten durch Versenkieten ersetzt), und die ersten vier Platten trafen Mitte Oktober 1935 am KWI für Strömungsforschung ein. Etwa sechs Wochen später sandte Prandtl den ersten Bericht an die Marinewerft in Wilhelmshaven.⁵³

Das Projekt war offensichtlich von Anfang an auf sehr spezielle Wünsche der Marine zugeschnitten. Die Beteiligung der Schiffswerften sicherte die Verwertung der Daten aus dem KWI für Strömungsforschung. In den Folgejahren wurde das Untersuchungsprogramm kontinuierlich ausgeweitet, immer neue Typen von Rauigkeiten wurden studiert. Im Sommer 1938 wurde schließlich eine entscheidende Erweiterung der Versuchsanlagen vorgenommen und ein neuer Rauigkeitswindkanal gebaut, der auch für aerodynamische Untersuchungen von Wandreibungskoeffizienten genutzt werden konnte. Wieder wurde die zu untersuchende Oberfläche in die Kanalwand eingebaut, „die gegenüberliegende Wand“ war nun jedoch

„gelenkig aus einer großen Anzahl von Einzelementen aufgebaut und kann so eingestellt werden, daß auf der Versuchsfläche irgendein gewünschter Druckverlauf entsteht. Die Ermittlung des örtlichen Reibungswiderstandes erfolgt mittels einer Waage, auf der ein Stück der zu untersuchenden Oberfläche beweglich angebracht werden kann oder aber durch Impulsmessungen am Beginn und am Ende der zu untersuchenden Strecke. [...] Die eigentlichen Messungen stehen vor ihrem Beginn.“⁵⁴

Das jährliche Antragsvolumen für das Marine-Projekt verdoppelte sich, und auch das RLM begann, Versuche im neuen Rauigkeitskanal zu finanzieren.⁵⁵ Wieder war die Marineleitung skeptisch, ob von den neuen Versuchseinrichtungen praktisch verwertbare Ergebnisse zu erwarten waren, und verlangte Vorversuche mit bereits im Wasserkanal vermessenen Platten zur Kontrolle der Ergebnisse.⁵⁶ In der Tat dauerte es bis nach Kriegsbeginn 1939, bis die neue Versuchseinrichtung zufriedenstellend funktionierte. Eines der größten Probleme dabei war die Herstellung einer extrem turbulenzarmen Windströmung im neuen Kanal, da eine turbulente Kanalströmung die Übertragbarkeit auf die Bewegung im Wasser verhindert hätte. Hier erwarben Prandtl und seine Mitarbeiter (inzwischen war Karl Wieghardt leitend) Erfahrungen, die sie auch anderweitig für Turbulenzuntersuchungen einsetzen konnten. Um den Jahreswechsel 1939/40 kamen von der Marineleitung erneut Tabellen mit Rauigkeitsmustern, die nun jedoch im KWI für Strömungsforschung selbst angefertigt wurden. Im Frühjahr 1941 stoppte die Marineleitung schließlich das Projekt „wegen der angespann-

53 Vgl. Chef der Marineleitung an KWI für Strömungsforschung, 12.4.1935, und weitere Korrespondenz, MPG-Archiv, I, 44/69.

54 Beitrag für den Vierteljahresbericht April bis Juni 1938, Versuchseinrichtung zur Messung des Reibungswiderstandes strömender Luft an glatten und rauhen Oberflächen, undatiert, MPG-Archiv, I, 44/44.

55 Rauigkeitsuntersuchungen waren z. T. auch für Flugzeugkonstruktionen aufschlußreich, etwa für „Nietreihen, Stoßfugen, Fensterleisten u. dgl.“, vgl. Berichtsentwurf „RLM-Programm 1940“, undatiert, MPG-Archiv, I, 44/45.

56 Lottmann, OKM, an KWI für Strömungsforschung, 2.11.1938, und Folgekorrespondenz, MPG-Archiv, I, 44/70.

ten Arbeitslage auch auf dem Gebiet des Versuchswesens“.⁵⁷ Noch im selben Jahr strickte Prandtl allerdings erneut an einem größeren Projekt für die Marine, wie wir gleich sehen werden.

Auch wenn sich dieses Versuchsprogramm bis in kleinste Details an den Anforderungen der Marine orientierte, besaß es doch für die Wissenschaftler am KWI für Strömungsforschung auch Aspekte von allgemeinem Interesse. Die Oberflächenreibung eines strömenden Mediums an einem Körper war ein theoretisch kaum verstandenes und rein mathematisch hoffnungslos kompliziertes Problem. Nur durch Präzisionsmessungen konnte man hoffen, Daten zu gewinnen, die auch theoretische Fortschritte ermöglichten. Solche Messungen durchzuführen, erforderte seinerseits den Bau geeigneter Meßstrecken (Windkanäle mit sehr niedrigem Turbulenzgrad). In einem geschickten Spiel von wechselweiser Legitimation des Projekts gegenüber der Kriegsmarine und dem RLM (die Unterstützung der jeweils anderen Behörde diente als Argument für die Wichtigkeit der Versuche) erreichten Prandtl und seine Mitarbeiter, daß in einem fast völlig finalisierten Forschungsprojekt zugleich ihre eigenen wissenschaftlichen Ziele befördert wurden. Dieses Muster der Verknüpfung von heteronomen (militärischen) mit autonomen Erkenntnisinteressen kennzeichnet auch die nachfolgend beschriebenen Forschungsaktivitäten an Prandtls Institut.

Rechnen

Damit wende ich mich jener Spielart von „Grundlagenforschung“ zu, deren Produkt Rechenverfahren waren, die andernorts in kriegsrelevanten Vorhaben eingesetzt werden konnten. Wie die Übersicht auf Seite 18 zeigt, fanden sich in den Kriegsaufträgen des KWI für Strömungsforschung mehrere solche Projekte. Sie waren teils der Dynamik von Grenzschichten gewidmet, teils sog. Charakteristikenverfahren für die Berechnung von Überschallströmungen. Letztere wurden am KWI für Strömungsforschung vor allem für den Fall von Umströmungen von Raketenkörpern entwickelt; wie erwähnt bestand hier eine Kooperation mit der Heeresversuchsanstalt in Peenemünde. Generell war die Konstruktion ähnlicher Rechenverfahren einer der Schwerpunkte des Einsatzes von Mathematikern in den Institutionen der Kriegsforschung während des Zweiten Weltkriegs.⁵⁸ Dementsprechend handelte es sich um einen Bereich, in dem zwischen verschiedenen Forschungsinstituten signifikante Konkurrenz bestand, oder, negativ formuliert, in dem es zu den berüchtigten „Doppelarbeiten“ kam, die gerne zur Kennzeichnung der vermeintlichen Ineffektivität der NS-Wissenschaftsorganisation herangezogen werden.⁵⁹

57 Vgl. fortlaufende Korrespondenz zu den Rauigkeitsversuchen, MPG-Archiv, I, 44/70.

58 Vgl. hierzu allgemein Herbert Mehrrens, *Mathematics and War. Germany, 1900–1945*, in: Paul Forman/José M. Sánchez-Ron (Hg.), *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology. Studies in the 20th Century History*, Dordrecht 1996, S. 87-134; Moritz Epple/Volker Remmert, „Eine ungeahnte Synthese zwischen reiner und angewandter Mathematik“. *Kriegsrelevante mathematische Forschung in Deutschland während des II. Weltkrieges*, in: Kaufmann (Hg.), *Geschichte*, S. 258-295.

59 Die vor allem von Akteuren retrospektiv eingesetzte Figur der „Doppelarbeiten“ ist historiographisch problematisch, da sie sich ein Muster zentralistischer Forschungsplanung zu eigen macht, dessen Sinn selbst unter Kriegsbedingungen erst noch zu überprüfen wäre. Vgl. kritisch hierzu Helmut Maier, „Wehrhaftmachung“ und „Kriegswichtigkeit“. Zur rüstungstechnologischen Relevanz des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart vor und

Hier sei eine Serie von Bemühungen herausgegriffen, die von Prandtl und seinem Mitarbeiter Henry Görtler verfolgt wurden. Auch dieses Projekt begann bereits vor dem Krieg. Die erste Erwähnung in den Forschungsberichten für das RLM findet sich im Herbst 1937, eingegliedert in ein umfassenderes, z. T. auch experimentelles Grenzschichtprojekt, an dem in der AVA hochkarätige Mitarbeiter beteiligt waren (Walchner, Lotz, Ritz, Flügge und drei Doktoranden; Leiter des Gesamtprojekts war Betz). In diesem Bericht heißt es:

„Es fehlt bisher an einer zuverlässigen Rechenmethode, die [im Fall zweidimensionaler Strömungen, M. E.] gestattet, die Weiterentwicklung einer Grenzschicht bei gegebenem Anfangsprofil und gegebenem Geschwindigkeitsverlauf außerhalb der Grenzschicht zu berechnen. Eine solche Methode, die mit numerischen und graphischen Verfahren arbeitet, soll aufgrund eines kürzlich aufgestellten Arbeitsplanes zur ‚Betriebsreife‘ entwickelt werden.“⁶⁰

Bereits vor Kriegsbeginn lag eine erste Version des Verfahrens fertig vor. Prandtl mußte jedoch eingestehen, daß es sich um eine zwar „praktisch brauchbare, allerdings ziemlich mühsame Methode“ handelte. Die Rechnung lieferte insbesondere den sog. Ablösungspunkt und Verlauf der laminaren Grenzschicht bis an diese Stelle.⁶¹ Eine Beschreibung dieses Verfahrens durch Görtler wurde noch 1939 publiziert.⁶²

Damit war das Vorhaben allerdings nicht abgeschlossen. Am KWI für Strömungsforschung wurden Experimente zur Überprüfung der Qualität der entwickelten Rechenmethode vorbereitet.⁶³ Nach Kriegsbeginn wurde jedoch auch dieses Projekt „als zur Grundlagenforschung gehörig vorläufig abgesetzt“.⁶⁴ Görtler wurde in den folgenden Jahren mit der theoretischen Untersuchung des laminar-turbulenten Umschlags beauftragt. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelte es sich dabei um kaum mehr als eine Umetikettierung der Görtlerschen Arbeit an der Numerik von Grenzschichtvorgängen.

Im Jahr 1943 erzielte Görtler dann einen neuen Durchbruch in der Verbesserung seiner Rechentechnik, mehr oder weniger zeitgleich mit dem an der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) in Berlin-Adlershof arbeitenden Mathematiker Kurt Schröder, der ebenfalls ein verbessertes Verfahren der Grenzschichtrechnung vorlegte. Den entscheidenden Punkt des verbesserten Verfahrens hob Prandtl später in einem Berichtsentwurf für die Alliierten hervor: Es ging um die „genäherte Ermittlung der exakten Lösung beliebiger ebener Grenzschichtströmungen mittels eines Rechenschemas, das von untergeordneten Hilfskräften durchgeführt werden kann.“⁶⁵ Gemeint waren hier insbesondere junge weibliche

nach 1945 (= Ergebnisse. Vorabdrucke aus dem Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“, Heft 5), Berlin 2002.

60 Vierteljahresbericht Nr. 2/37, 2.11.1937, MPG-Archiv, I, 44/44.

61 Beitrag zum Vierteljahresbericht Juli bis September 1938, Verfahren zur Berechnung der laminaren Grenzschicht, MPG-Archiv, I, 44/44.

62 Henry Görtler, Weiterentwicklung eines Grenzschichtprofils bei gegebenem Druckverlauf, in: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 19, 1939, S. 129-140.

63 Beitrag zum Vierteljahresbericht 1/39/40, Verhalten der Grenzschicht, MPG-Archiv, I, 44/44.

64 Vgl. Prandtl an RLM, 25.5.1940, MPG-Archiv, I, 44/45.

65 Entwurf eines Berichts über die Kriegsarbeiten des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung für die Alliierten, MPG-Archiv, I, 44/49, S. 6. Hervorhebung M. E.

Rechenkräfte ohne mathematische Spezialausbildung, wie sie an der AVA und anderswo in beträchtlichem Umfang für numerische Aufgaben der Kriegsforschung eingesetzt wurden. Görtler schrieb gewissermaßen ein „Programm“ für solche menschlichen „Computer“ (so die englische Bezeichnung der auch in der Kriegsforschung anderer Staaten eingesetzten Rechnerinnen).⁶⁶

Die Bedeutung eines zur „Betriebsreife“ entwickelten Verfahrens wie des Görtlerschen wird sichtbar an den Vorgängen um eine „Kriegstagung“, die die Deutsche Mathematiker-Vereinigung (DMV) im September 1943 in Würzburg veranstaltete. Schröder und Görtler sollten dort auf einer geheimen Sitzung vor ausgewählten Universitätsmathematikern über ihre neuen numerischen Verfahren der Grenzschichtberechnung berichten. Selbst das ging manchen im RLM noch zu weit. Die Resultate Görtlers wurden von der Geschäftsstelle der Forschungsführung im RLM kurzfristig als „Geheime Kommandosache“ eingestuft, was ein Redeverbot auf der Tagung der DMV nach sich zog. Nach einer Intervention Prandtls (der zu dieser Zeit bereits Vorsitzender der Forschungsführung war, s. u.) wurde diese äußerst restriktive Haltung revidiert, Görtlers Verfahren in die Stufe „Nur für den Dienstgebrauch“ eingeordnet und seine Teilnahme an der Tagung zugelassen; schließlich sollte das Verfahren ja auch andernorts eingesetzt werden.⁶⁷

Messen

Vielleicht mehr noch als durch die Konstruktion von Rechentechniken trug das KWI für Strömungsforschung durch die Entwicklung von Meßverfahren zur Infrastruktur rüstungsnaher Kriegsforschungen bei. Hier seien zwei Serien von Arbeiten erwähnt, die sich beide an der Front der damals verfügbaren experimentellen Techniken bewegten: die Arbeiten zur Kavitation in Flüssigkeitsströmungen und die Konstruktion von Turbulenzmeßgeräten.

Wie schon oben deutlich wurde, war das Phänomen der Kavitation (d. h. der Hohlraumbildung hinter umströmten Körpern) zu Beginn der dreißiger Jahre experimentell noch wenig untersucht worden. Es trat vor allem bei hohen Geschwindigkeiten auf, etwa in der Ballistik und bei sehr schnellen Bewegungen in Wasser. An der AVA hatte es bereits 1932 auch erste Untersuchungen der Kavitation an Tragflügeln gegeben.⁶⁸ Mit der Konstruktion von Raketen und Hochgeschwindigkeitsflugzeugen wurde das Phänomen aerodynamisch immer wichtiger. Da für eine theoretische Behandlung neben kontinuumsmechanischen

66 Eine nähere historische Untersuchung der Rolle von Rechnerinnen im Zweiten Weltkrieg steht noch aus. Zum Einsatz weiblicher Rechenkräfte im Dekodierungsprojekt von Bletchley Park vgl. z. B. die verstreuten Bemerkungen in Andrew Hodges, Alan Turing, Enigma, Berlin 1989, Kap. 4 und 5.

67 Verschiedene Korrespondenz der Forschungsführung im RLM, 21.8.–7.9.1943, MPG-Archiv, III, 61/2119. Ein Hintergrund der Vorgänge, der hier nicht aufgelöst werden kann, waren wohl auch Querelen in der Geschäftsstelle der Forschungsführung im RLM. Zur Kriegstagung der DMV 1943 und zur späteren Rolle Görtlers vgl. Epple/Remmert, „Ungeahnte Synthese“, S. 277 f.; dort auch Hinweise auf weitere Quellen.

68 Vgl. z. B. Otto Walchner, Profilmessungen bei Kavitation, in: Günther Kempf/Ernst Foerster (Hg.), Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs, Bd. 1, Hamburg 1932, S. 256-267; ders./Adolf Busemann, Profileigenschaften bei Überschallgeschwindigkeit, in: Forschungen aus dem Gebiet des Ingenieurwesens 4, 1933, S. 87-92.

Überlegungen auch thermodynamische notwendig waren, schien der experimentelle Zugang kurzfristig bedeutsamer.

Im März 1942 reichten Prandtl und Reichardt beim RLM einen Antrag auf den Bau einer neuen Kavitationsanlage ein.⁶⁹ Mit dem Auslaufen der Rauigkeitsuntersuchungen für die Marine wurde auch das OKM über das neue Vorhaben informiert; es zeigte sich sofort interessiert.⁷⁰ Noch im selben Jahr wurde mit dem Bau der Anlage begonnen. Es handelte sich um einen waagrecht austretenden freien Wasserstrahl in einem evakuierbaren Raum. In den Wasserstrahl konnte ein Modell gebracht werden, an dem sich dann Kavitationsblasen bildeten. In diese Blasen wurden wiederum Druckwaagen eingebracht, ferner wurde der gesamte Vorgang ggf. fotografiert oder mit einer Zeitlupenkamera aufgezeichnet. Die Anlage war (ganz entsprechend der Prandtlschen Linie der experimentellen Strömungsmechanik) so konstruiert, daß sie sowohl für die Analyse von Bewegungen in Wasser als auch (bei entsprechender Umrechnung) für Bewegungen in Luft verwendet werden konnte.⁷¹

Die Kavitationsstrecke wurde bis Oktober 1942 fertiggebaut, aber erste Arbeiten zeigten, daß eine noch stärkere Pumpe für den Wasserstrahl erforderlich war.⁷² Eine solche Pumpe traf erst im Frühjahr 1943 am KWI für Strömungsforschung ein. Im April konnte Prandtl dem RLM mitteilen, daß die vollständige Anlage in wenigen Wochen in Betrieb genommen werden sollte. Ab dieser Zeit hatten die Arbeiten an der neuen Anlage hohe Priorität.⁷³ Schon vor der endgültigen Fertigstellung liefen erste, von der Industrie in Auftrag gegebene Versuche:

„Mit der provisorischen Anlage wurden Dreikomponentenmessungen an Geschößkörpern im Auftrage der Henschel-Flugzeugwerke durchgeführt. – Im Anschluß an diese Untersuchungen wurde vom Bearbeiter [Reichardt, M.E.] ein eigenes Forschungsprogramm über die Hydrodynamik der Geschößbewegung im Wasser begonnen. [...] Ferner sind experimentelle Untersuchungen über den Eintauchvorgang von Geschößmodellen in die Wasseroberfläche in Vorbereitung.“⁷⁴

Auch die Marine schaltete sich ein. Soweit ich sehe, bezog sich der einzige Auftrag der Dringlichkeitsstufe DE, den das KWI für Strömungsforschung während

69 Vgl. Bericht über Forschungsarbeiten 1942, 30.7.1942, MPG-Archiv, I, 44/46.

70 Prandtl an OKM, 25.4.1942, sowie Brandes, OKM, an KWI für Strömungsforschung, 12.6.1942, beides MPG-Archiv, I, 44/70.

71 Die Beschreibung der Versuchsanordnung ist verschiedenen Anträgen und Berichten entnommen, vgl. insbesondere auch den Entwurf eines Berichts über die Kriegsarbeiten des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung für die Alliierten, MPG-Archiv, I, 44/49, hier S. 5.

72 Hier zeigt sich eine typische Dynamik des Baus neuer Experimentalapparaturen. Von Anfang an wurde auch über noch größere Anlagen nachgedacht. In Prandtls Bericht an die Forschungsführung vom 28.11.1942, MPG-Archiv, I, 44/46, heißt es: „Im Hinblick auf das Bedürfnis, größere leistungsfähige Kavitationsanlagen zu erstellen, wurden Untersuchungen begonnen, die Gestaltungsmöglichkeiten solcher Anlagen betreffen“.

73 Bericht Prandtls an die Forschungsführung vom 10.4.1943, MPG-Archiv, I, 44/46. Darin teilte Prandtl u. a. mit, daß (ebenfalls von Reichardt betreute) Arbeiten im kleinen Laminarkanal „zugunsten einer stärkeren Förderung der vordringlichen Arbeiten zur Kavitation und zur Entwicklung von Turbulenzmeßgeräten zurückgestellt worden“ seien.

74 Ebd. Auch über die Gestaltungsmöglichkeiten größerer Kavitationsanlagen wurde weiter nachgedacht.

des Krieges erhielt, auf Arbeiten an der Kavitationsstrecke. In einer geheimen Notiz vom August 1943 heißt es: „Zur Zeit laufen DE-Untersuchungen für die Chemisch-Physikalische Versuchsanstalt der Kriegsmarine und zwar handelt es sich um die Entwicklung von Unterwassergeschossen mit Raketenantrieb.“⁷⁵ Die Göttinger Ergebnisse mit der neuen Anlage machten offenbar großen Eindruck im OKM. Am 8. November 1943 bat der zuständige Beamte im OKM, Flotten-Stabsingenieur Wernitz, um Diagramme und Zeichnungen des Strömungsvorgangs an einem Schnelltorpedo für einen Bericht. Prandtl reagierte mit Bedenken, da nach seiner Auffassung wichtige Details „zur richtigen Beurteilung der technischen Möglichkeiten“ noch fehlten

„und deshalb bei Mitteilung der bisherigen Ergebnisse unter Umständen falsche Hoffnungen geweckt werden könnten. Wir halten es deshalb für richtiger, im gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine allzusehr ins Einzelne gehenden quantitativen Angaben für einen weiteren Leserkreis zu machen.“⁷⁶

Im Herbst 1943 erteilte auch das RLM, das den Bau der Anlage ja finanziert hatte, einen dringlichen Auftrag über die Gestaltung von sog. Gleichdruckkonturen auf derselben Kavitationsanlage. Hier war die Idee, die Gestalt von künstlich erzeugten Kavitationsblasen zu fotografieren, um nach diesem Vorbild Triebwerksgondeln für Hochgeschwindigkeitsflugzeuge zu formen, zunächst für Windkanalmodelle.⁷⁷

Der Gleichklang von strömungsmechanischen und militärischen Forschungsinteressen ist auch hier klar erkennbar. Während die Rüstungstechnologen und wohl auch die meisten Wissenschaftler sich Unterstützung beim Entwurf von Geschossen, Flugzeugteilen und Torpedos erhofften, konnten die Wissenschaftler gleichzeitig die Untersuchung eines wenig bekannten empirischen Phänomens vorantreiben. Der gemeinsame Nenner war die Apparatur, die – z. T. sogar in denselben Versuchen – eine „biperspektive“ Nutzung gestattete.⁷⁸ Darüber hinaus liegt hier ein weiteres schlagendes Beispiel der wechselweisen, kriegsbezogenen Legitimation eines Forschungsprogramms des KWI für Strömungsforschung gegenüber RLM und OKM vor.

Nun noch kurz zur Entwicklung von Turbulenzmeßgeräten, die ebenfalls zu den mit hoher Priorität durchgeführten Arbeiten am KWI für Strömungsforschung gehörten. Turbulenzmessungen waren vor allem in zwei Hinsichten praktisch bedeutsam: für die Untersuchung des aerodynamischen Verhaltens von Hochgeschwindigkeitsflugkörpern in Windkanälen und (untrennbar damit verknüpft)

75 Geheimnotiz über die Kavitationsstrecke, unterzeichnet von Hans Reichardt, 3.8.1943, MPG-Archiv, I, 44/46. Die Notiz wurde wörtlich in den Tätigkeitsbericht Prandtls an die Forschungsführung vom 9.8.1943, MPG-Archiv, I, 44/51, aufgenommen.

76 Prandtl an Forschungsführung, 19.11.1943, MPG-Archiv, I, 44/46. Die Kavitationsuntersuchungen für die Chemisch-Physikalische Versuchsanstalt der Kriegsmarine sind auch im Bericht Prandtls an die Forschungsführung vom 21.12.1943 noch einmal erwähnt, MPG-Archiv, I, 44/46.

77 Kriegsauftrag vom 10.11.1943, MPG-Archiv, I, 44/51. Weitere Details zu diesen und den anderen an der Kavitationsanlage durchgeführten Arbeiten im Berichtsentwurf für die Alliierten, MPG-Archiv, I, 44/49.

78 Für die Bedeutung der multiperspektiven Nutzung wissenschaftlicher Apparate für die Vernetzung von wissenschaftlicher und militärischer Forschung vgl. auch die Fallstudie von Hans-Jörg Rheinberger, Virusforschung an den Kaiser-Wilhelm-Instituten für Biochemie und Biologie, in: Kaufmann (Hg.), Geschichte, S. 667-698.

zur Kontrolle der Turbulenzphänomene in den Windkanälen selbst. Daß genau arbeitende Turbulenzmeßgeräte für ein tieferes Verständnis des schwierigen Phänomens der Turbulenz von hoher Bedeutung waren, liegt auf der Hand. Auch hier bildeten also gewisse technische Apparate bzw. apparative Techniken den Konvergenzpunkt von „Grundlagenforschung“ und technologischer Entwicklung.

Untersuchungen zu Turbulenzmeßverfahren finden sich vom Zeitpunkt der Trennung von der AVA in den Aufträgen des RLM an das KWI für Strömungsforschung. Leitende Bearbeiter waren wiederum Prandtl und Reichardt.⁷⁹ Bei dem langfristig wichtigsten Meßverfahren handelte es sich um einen sog. Hitzdraht-Geschwindigkeitsmesser mit nachgeschalteter Elektronik.⁸⁰ Dabei wurde ein dünner Draht mit temperaturabhängigem elektrischem Widerstand (z.B. Platindraht) an einem bestimmten Punkt in eine Strömung gebracht und durch elektrischen Strom erhitzt. In gleichförmiger Strömung bildete sich ein stationärer thermischer Zustand, der von der Strömungsgeschwindigkeit abhing. Änderte sich diese, so auch der elektrische Widerstand des Drahtes. Dessen Schwankungen gaben damit die Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit wieder. In einer turbulenten Strömung erhielt man so eine mehr oder weniger irreguläre Widerstandskurve, die aufgezeichnet und auf elektronischem Weg spektral analysiert werden konnte. Aus dieser Analyse erhofften sich die Strömungsmechaniker wieder Rückschlüsse auf die Dynamik turbulenter Strömungen.

Das Hitzdraht-Meßverfahren war zu dieser Zeit in den USA bereits zu beachtlicher Qualität gebracht worden, was Prandtl in seinen ersten Anträgen gebührend herausstrich. In der Tat barg die Konstruktion funktionierender und präziser Geräte beachtliche physikalische und insbesondere elektronische Schwierigkeiten. Reichardt und mehrere Mitarbeiter arbeiteten den ganzen Krieg hindurch intensiv an diesem Problem. In den späteren Jahren ging es auch um die Erprobung und Eichung der Geräte in Windkanälen, für die sie ja gedacht waren.

Inwiefern die am KWI für Strömungsforschung konstruierten Turbulenzmeßgeräte, deren Entwicklung bei Kriegsende noch nicht vollständig abgeschlossen war, in der AVA oder anderswo bereits praktisch eingesetzt wurden, wäre noch näher zu untersuchen.⁸¹ Aber auch am KWI für Strömungsforschung selbst ließ man es sich nicht entgehen, kriegsrelevante Versuche mit der neuen Technik zu machen, als sich die Gelegenheit bot.

„Gelegentliche Beratungen über Nebelauflösung“

In der Übersicht über die Kriegsaufträge tauchte beiläufig die Bemerkung auf, das KWI für Strömungsforschung habe im Januar 1943 gelegentlich das Marine-Observatorium Greifswald „in Fragen der Nebelauflösung“ beraten. Als die Berichterstatter der Alliierten nach Kriegsende durch Deutschland reisten, er-

79 Vgl. z. B. den Vierteljahresbericht Nr. 2/37 vom 2.11.1937, MPG-Archiv, I, 44/44, und spätere Berichte. Das KWI für Strömungsforschung setzte hier frühere, noch nicht vom RLM finanzierte Arbeiten fort.

80 Die folgende technische Erläuterung folgt Theodore von Kármán, Aerodynamik. Ausgewählte Themen im Lichte der historischen Entwicklung, Genf 1956, S. 93 f.

81 Vgl. Berichtsentwurf für die Alliierten, undatiert, S. 9 f., MPG-Archiv, I, 44/49.

fuhren sie, daß es sich dabei in Wirklichkeit um den Beginn experimenteller Untersuchungen zur Vorbereitung des Einsatzes von Giftgas auf See handelte. In der Versuchsstation für chemische Kriegführung in Raubkammer bei Münster fanden sich mehrere Geheimberichte, die sich mit dem Problem der atmosphärischen Diffusion von Rauch- und Gaswolken befaßten und in denen Experimente am KWI für Strömungsforschung erwähnt wurden. Einer dieser Berichte stammte von dem in Greifswald tätigen Mathematiker Wolfgang Krull, der anscheinend der Initiator der am KWI für Strömungsforschung durchgeführten Experimente war. Dort war Karl Wieghardt verantwortlich. Prandtl wußte von den Versuchen, aufgrund der vorliegenden Informationen kann aber nicht entschieden werden, ob er persönlich beteiligt war. Die Versuche dauerten mindestens bis ins Jahr 1944.⁸²

Dabei handelte es sich um Versuche mit einer der Schlüsseltechnologien, die am KWI für Strömungsforschung entwickelt wurden, eben den Hitzdrahtanordnungen. Studiert wurde die Diffusion der von einem Hitzdraht ausgehenden Wärme über einer aerodynamisch glatten Fläche; komplexere Situationen ließen sich nicht experimentell fassen. Wieghardt überlegte sich, daß zwischen der Diffusion von Wärme und von materiellen Stoffen kein wesentlicher Unterschied bestand, und rechnete die Daten auf eine realistische Situation in der Atmosphäre um, allerdings ohne dafür ein sicheres Verfahren zu besitzen. Krull berichtete, daß in Greifswald Versuche auf See zur Überprüfung der Göttinger Resultate geplant waren; sie kamen während des Krieges aber nicht mehr zur Ausführung.

Selbst in diesem kleinen, aber brisanten Beispiel gab es Überschneidungen mit grundsätzlichen, am KWI für Strömungsforschung theoretisch verfolgten Interessen, nämlich dem Problem der Wärmediffusion in Strömungen. Dieses Gebiet der „Aero-Thermodynamik“ lag Prandtl sehr am Herzen. In dasselbe fällt auch sein Steckenpferd dieser Zeit, die Meteorologie.⁸³

FÜHREN

Eine Studie über Ludwig Prandtls KWI im Zweiten Weltkrieg wäre unvollständig ohne einen Hinweis auf die zentrale Rolle, die Prandtl selbst auf der Ebene der Forschungsorganisation im Einflußbereich des Luftfahrtministeriums spielte. Als unbestritten führende Autorität auf dem Gebiet der Strömungsmechanik, als Lehrer von vielen inzwischen in Leitungspositionen aufgerückten Aerodynamikern, und nicht zuletzt als loyaler Bürger des NS-Staates war seine Mitwirkung unvermeidlich, wo es um die führende Repräsentation von Wissenschaft-

82 Die spärlichen Informationen dieses Abschnitts stammen aus dem Berichtsentwurf Prandtls für die Alliierten, undatiert, MPG-Archiv, I, 44/49, sowie aus dem *BIOS Final Report 760*, German war-time developments in fluid turbulence with particular reference to the lower atmosphere and the meteorology of chemical warfare, erhältlich z.B. im *Imperial War Museum*, London. Zu einer genaueren Rekonstruktion der Vorgänge wären mehr Quellen erforderlich, als mir bislang zugänglich waren.

83 Nur in diesem Gebiet verfaßte Prandtl in den späten Kriegsjahren noch eigenständige wissenschaftliche Publikationen, vgl. die chronologische Übersicht über Prandtls Veröffentlichungen in Prandtl, *Gesammelte Abhandlungen*, Bd. 1, S. 1-9.

lern in Forschungsorganisationen ging. Dabei war sein Aktionsbereich vor allem an die Machtstrukturen des Göringschen Ministeriums geknüpft und weniger an die in vieler Hinsicht konkurrierende Infrastruktur von REM und RFR bzw. Deutscher Forschungsgemeinschaft (DFG). Zu den repräsentativen Ämtern Prandtls zählten seine Mitgliedschaft im Präsidium der Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung (neben Adolf Baeumker und Carl Bosch) und im Ausschuß der von Göring und Milch präsierten, im Jahr 1936 gegründeten Akademie für Luftfahrtforschung. Prandtl war ferner erster Träger der „Hermann Göring-Denkünze“ im Jahr 1938. Weitere Ämter und Ehrungen folgten.

Am bedeutendsten war zweifellos Prandtls Rolle als Vorsitzender der im Frühsommer 1942 gegründeten sog. Forschungsführung des Reichsluftfahrtministeriums. Dieses Gremium, dem außer Prandtl noch Baeumker sowie der Leiter der Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug (DFS) in Ainring bei München, Walter Georgii, und in geschäftsführender Funktion der zeitweilige Leiter der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Berlin-Adlershof, Friedrich Seewald, angehörten, wurde im Zug der allgemeinen Neustrukturierung der NS-Wissenschaftsorganisationen im Jahr 1942 von Göring (der inzwischen auch Generalflugzeugmeister geworden war) geschaffen. Oberstes Ziel des Gremiums war es, „die in der Luftfahrtforschung vorhandenen Kräfte und Erkenntnisse in vollem Maße für die Luftrüstung nutzbar zu machen“, die konkreten Aufgaben bestanden in

„1.) Planung und Überwachung der Durchführung der Luftfahrtforschung, 2.) Regelung des Einsatzes der der Luftfahrtforschung zur Verfügung stehenden Mittel, Anlagen und Einrichtungen sowie des Forschungspersonals, 3.) Erfahrungsaustausch mit Wissenschaft, Industrie und Front.“⁸⁴

Zur Erfüllung dieser Aufgaben wurden der Forschungsführung unabhängige Mittelbewirtschaftung, die Berechtigung zur Personalpolitik auf Leitungsebene der Institute und nicht zuletzt das Recht auf direkten Vortrag bei Milch eingeräumt, das in der Regel der Vorsitzende Prandtl wahrnahm.⁸⁵ Ein Detail am Rande ist, daß Prandtl dadurch unter anderem die Bewilligung der Forschungsmittel und die Überwachung der Personalpolitik seines eigenen Instituts oblag.

Über die Forschungsführung der Luftwaffe ist bereits viel geschrieben worden, sei es, um die Bedeutung der Forschung in dem ab 1942 mehr und mehr in Bedrängnis geratenden Göringschen Imperium zu relativieren,⁸⁶ sei es, um die Frage zu diskutieren, wie effektiv das neue Modell der „Selbststeuerung“ der wissenschaftlichen Forschung, das die Forschungsführung im Bereich des RLM umsetzen sollte, bis Kriegsende noch funktionieren konnte.⁸⁷ Zu diesen Diskussionen kann in Kürze wenig Neues beigetragen werden. Dennoch möchte ich wenigstens zu der Frage Stellung nehmen, wie ernst der Direktor des KWI für Strömungsforschung seine Tätigkeit für die Forschungsführung nahm und in

84 Rundschreiben des Reichsministers der Luftfahrt, gez. i. V. durch Erhard Milch, an alle untergebenen Dienststellen, Oberkommando der Wehrmacht (OKW), OKH, OKM, verschiedene Ministerien, KWG usw. vom 29.5.1942, MPG-Archiv, III, 61/2109.

85 Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 246-261.

86 Vgl. Boog, Luftwaffenführung, S. 36-76.

87 Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 246-261; ders., „Big Science“.

welchem Verhältnis seine Aktivitäten auf dieser Ebene zu jenen des Forschungsalltags an seinem Institut standen.

Vertieft man sich in das umfangreiche Aktenmaterial, so wird zumindest eines deutlich: Die Aufgabe, die die Forschungsführung zu lösen hatte, war angesichts der bestehenden, weitgehend polyzentrischen Strukturen alles andere als leicht. Etwa ein Dutzend große und eine Vielzahl kleiner Forschungseinrichtungen waren zu koordinieren, wobei die Sachgebiete von der Aerodynamik hoher Geschwindigkeiten über die Motorenkonstruktion und die Funk- und Radarforschung bis hin zur Flugmedizin reichten. Im Gesamtbereich mußten Forschungsprioritäten festgelegt und über gewaltige Ausbauvorhaben entschieden werden, unter denen vielleicht die von Baeumker geleitete „Luftfahrtforschung München“ (LFM) hervorsticht, ein bis Kriegsende nur als Torso realisierter Institutskomplex, an dem gezielt Fragen des Hochgeschwindigkeitsflugs und seiner militärischen Verwendung studiert werden sollten.⁸⁸ Insbesondere bei diesen Ausbauvorhaben kamen alle Aspekte der Aktivitäten im Bereich der Luftfahrtforschung in dem Viermännergremium zur Sprache, einschließlich der moralisch heikleren. So wurde etwa der Gefangeneneinsatz in Bauvorhaben der AVA und der LFM diskutiert⁸⁹ oder auch Baeumkers verwegener (und nicht realisierter) Plan, mit Zustimmung des Sanitätsinspektors der Luftwaffe Erich Hippke in München ein neues Institut für biologische Luftfahrtforschung zu eröffnen. An den Gründungsbesprechungen für dieses Institut nahmen mehrere Physiologen und Mediziner teil, die bereits andernorts Erfahrung mit tödlichen Menschenversuchen gesammelt hatten (neben Hippke u. a. der Leiter des Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstituts des RLM in Berlin, Hubertus Strughold, und der Münchener Luftfahrtmediziner Georg August Wetz, der an Versuchen mit Häftlingen aus dem KZ Dachau beteiligt war). Auch das vorgesehene Leitungspersonal stammte aus diesen Netzwerken. Direktor sollte Theodor Benzinger von der Erprobungsstelle Rechlin werden.⁹⁰ Prandtl selbst wurde über die Einzelheiten der Planung laufend informiert und befürwortete Baeumkers Vorstoß: „Zu Ihren Ausführungen wegen des bei der LFM zu errichtenden Instituts möchte ich Ihnen hier mein Einverständnis erklären.“⁹¹ Darüber hinaus hatte die Forschungsführung des RLM die Koordination mit Forschungsstellen in anderen Wehrmachtsteilen (Heer, Marine) zu leisten, die teilweise an dieselben Institute (wie etwa das KWI für Strömungsforschung) Forschungsaufträge vergaben wie das Luftfahrtministerium. Eine permanente Schwierigkeit, mit der die Forschungsführung nur halbwegs zurechtkam, bestand schließlich darin, die staatliche Forschung mit der Industrieforschung zu koordinieren. Prandtl verteidigte hier insbesondere das Recht der Forschungsinstitute, dringende Kriegsaufgaben statt durch Überlassung der Institutsanlagen an private Firmen in Form eigener Forschungsaufträge durchzuführen. „Das Reich“, argumentierte er in einer ent-

88 Vgl. Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 264-269.

89 Für die AVA vgl. Prandtl an Seewald, 12.11.1942, MPG-Archiv, III, 61/2115; für die LFM vgl. z. B. Baeumker an Prandtl, 10.9.1943, und Folgekorrespondenz im MPG-Archiv, III, 61/2190.

90 Vgl. u. a. Baeumker an Forschungsführung, 27.4.1943, sowie die Niederschrift über die Besprechung mit Hippke am 2.3.1943, und Folgekorrespondenz im MPG-Archiv, III, 61/2190. Der Vorgang verdient eine genauere Untersuchung als bei Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung, S. 266 f. Vgl. zum Kontext auch Ernst Klee, *Auschwitz, die NS-Medizin und ihre Opfer*, Frankfurt/Main 1997, S. 216 ff. Auch in dieser Studie bleiben viele Details offen.

91 Prandtl an Baeumker, 14.5.1943, MPG-Archiv, III, 61/2117.

sprechenden Eingabe an Milch, „hat ein wohlverstandenes Interesse daran, daß die Forschungsarbeit in seinen Instituten unbehindert weitergehen kann und nicht von Firmeninteressen, die bis zu einem gewissen Grade immer den Reichsinteressen entgegenstehen, überwuchert werden.“⁹²

Es verwundert nicht, daß in diesem Feld vielfache Sonderinteressen aufeinander abgestimmt werden mußten und die Forschungsführung sich in einem Geflecht von kleineren und größeren, vertikalen wie horizontalen Konflikten wiederfand, die nicht leicht aufzulösen waren. Angesichts dieser Situation blieb den vier Mitgliedern des Gremiums nicht die Wahl zwischen Engagement und Laissez-faire. Es kann kaum bestritten werden, daß alle vier sich nach Kräften bemühten, ihrer Aufgabe so gut wie möglich gerecht zu werden. Prandtls Rolle war dabei oft die des Ausgleichs zwischen den verschiedenen Interessen innerhalb der Forschungsführung. Insbesondere suchte er die permanenten Spannungen zwischen dem visionären, zur Gigantomanie tendierenden Baeumker und dem skeptischen Seewald zu dämpfen. Diese kamen mehrfach heftig zum Ausbruch, etwa angesichts der umfangreichen Anträge Baeumkers auf finanzielle Mittel zum Aufbau der LFM. Seewald war der Ansicht, solche Vorhaben würden „auf viele Jahre hinaus nicht eine Stärkung, sondern eine Schwächung der Luftfahrtforschung“ bedeuten. Prandtl gab Seewald darin recht, daß „die Bedürfnisfrage“ in solchen Situationen genau zu klären war; letzten Endes befürwortete er jedoch Baeumkers Vorschläge.⁹³

Als (nicht zuletzt aufgrund solcher Konflikte) absehbar wurde, daß Seewald sich aus der geschäftsführenden Funktion zurückziehen würde, bemühte sich Prandtl nach Kräften, eine geeignete Alternative zu finden. Unter anderem wandte er sich an den Generalsekretär der KWG, Ernst Telschow, der allerdings ablehnte.⁹⁴ Prandtl war froh, als Georgii, dessen DFS inzwischen zu einem „nationalsozialistischen Musterbetrieb“ mit über tausend Mitarbeitern angewachsen war, in welchem an verschiedenen modernsten, strahlgetriebenen Flugzeugmodellen geforscht wurde, sich bereit erklärte, die Geschäftsführung zu übernehmen. Erst jetzt konnte er sich etwas zurücklehnen, der richtige Mann an der richtigen Stelle war, so schien ihm, gefunden. Die umfangreiche Korrespondenz zwischen Prandtl und Georgii bis Kriegsende zeigt, daß Prandtl voll hinter dem überzeugten Patrioten Georgii stand, der noch bis unmittelbar vor Kriegsende ernsthaft daran glaubte, daß ein Durchbruch in der Luftfahrtforschung das Kriegsgeschick noch einmal wenden könne.⁹⁵

92 Prandtl an Milch, 14.10.1942, MPG-Archiv, III, 61/2114.

93 Seewald an Prandtl, 14.1.1943; Prandtl an Seewald, 22.1.1943, MPG-Archiv, III, 61/2116.

94 „Die Forschungsführung sucht einen gewandten Verwaltungsfachmann für eine sehr gehobene Stellung.“ Prandtl an Telschow, 13.7.1943, MPG-Archiv, III, 61/2118; Telschow an Prandtl, 5.8.1943, MPG-Archiv, III, 61/1674.

95 In seinem Weihnachtsbrief an Prandtl vom 21.12.1943, MPG-Archiv, III, 61/2129, drückte Georgii auf dem offiziellen Briefpapier des nationalsozialistischen Musterbetriebs DFS „Freude und Genuß“ über seine neue Berliner Arbeit aus; die Luftangriffe gaben ihm „die nötige Willens- und Nervenkraft, ja ich möchte sagen die nötige Härte zur Arbeit.“ Einen energischen Appell an alle der Forschungsführung unterstellten Stellen zur Konzentration auf Kriegsarbeiten versandte Georgii im April 1944, vgl. Rundbrief Georgiis, 18.4.1944, MPG-Archiv, III, 61/2173. Und noch in Georgiis Weihnachtsbrief vom 22.12.1944, MPG-Archiv, III, 61/2130, las Prandtl (diesmal handschriftlich auf billigem Papier), daß die Forschung über den „Schnellflug“ vom Pfeilflügel bis zum Strahltriebwerk bis zum Hochsommer [!] Ergebnisse zeitigen müsse.

Man kann sich nach dem Studium der Akten dem Eindruck nicht entziehen, daß Prandtl nach besten Kräften versucht hat, die schwierige Rolle des Vorsitzenden der Forschungsführung in einer Weise auszufüllen, die den Interessen der Wissenschaftler ebenso diene wie jenen des Staates. Zwischen seiner Rolle als geschickter Organisator der kriegsorientierten Forschung am KWI für Strömungsforschung einerseits und als nicht weniger effektiver Moderator der Forschungsführung des RLM andererseits bestand kein Widerspruch. Im Gegenteil: Durch seine Mitwirkung an den Prioritierungsentscheidungen im Bereich der Luftfahrtforschung und verschiedensten Koordinationsaufgaben im Gesamtgebiet der Rüstungsforschung kannte Prandtl auch die Hauptlinien der rüstungstechnischen Entwicklungen des Krieges sowie die konkreten Fragen, die aus der Rüstungsindustrie und der Wehrmacht an die Rüstungsforschung herangetragen wurden.⁹⁶ Ohne Zweifel half diese Kenntnis Prandtl auch, die Forschungsaktivitäten seines Instituts den Kriegsbedingungen optimal anzupassen. Die Tatsache, daß am KWI für Strömungsforschung an zwei Schlüsseltechnologien der damaligen Rüstungsentwicklung, dem „Schnellstflug“ und den Torpedos, geforscht wurde, erscheint damit noch einmal in neuem Licht.

STATT SCHLUSSFOLGERUNGEN: OFFENE FRAGEN

In seinem Kommentar zur Sektion „Rüstungsforschung und ‚kriegsrelevante‘ Forschung“ der Auftaktkonferenz des Forschungsprogramms „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“ hat Wilhelm Deist gegen Mehrstens und andere angemahnt, den einschlägig belegten Begriff der Kollaboration nicht auf die mannigfachen Kooperationen zwischen Wissenschaftlern und dem NS-Staat anzuwenden.⁹⁷ Letztlich ist die Wortwahl jedoch nicht entscheidend. Worauf es im vorliegenden Fall ankommt, ist, daß im Bereich der hydro- und aerodynamischen Forschung die Interessen von Wissenschaft, militärtechnologischer Entwicklung und Rüstungspolitik konvergierten und daß strukturelle Unvereinbarkeiten zwischen dem Forschungsbetrieb der Weimarer Zeit und jenem der Aufrüstungsphase und des Krieges nicht existierten. Es fiel den Strömungsforschern leicht, ihre Forschungsprogramme auf die Kriegsver-

96 Als exemplarischer Beleg für Prandtls Einmischung in Fragen der industriellen Rüstungsentwicklung sei eine Stellungnahme über die Arbeiten von Ernst Lippisch und den Gebrüdern Reimar und Walter Horten erwähnt. Lippisch war der maßgebliche Entwickler des erfolgreichen Raketenjägers Messerschmitt Me 163, die Brüder Horten arbeiteten ebenfalls an Hochgeschwindigkeitsflugzeugen. Prandtl befürwortete die Weiterentwicklung beider Linien mit militärstrategischen Argumenten: „Herr Lippisch entwickelt einen Jäger und sie arbeiten am zweimotorigen Schnellbomber und Zerstörer und auf weitere Sicht auch an einem schnellen Großbomber, und die Schnellbomber sind im Kampf gegen die Engländer und Amerikaner mindestens ebenso wichtig als die Jäger“, Prandtl an Baeumker, 11.3.1943, MPG-Archiv, III, 61/2116. Als Beispiel einer über die Forschungsführung vermittelten Anfrage eines anderen Wehrmachtsteils um Forschungsunterstützung kann die am 4.6.1943 abgehaltene Sitzung dienen, auf welcher das Oberkommando der Kriegsmarine (möglicherweise Großadmiral Karl Dönitz in Person) „um eine Zusammenarbeit bezüglich der Verbesserung der Ortung und Waffenwirkung vom U-Boot aus“ bat, vgl. Lorenz (RLM) an Prandtl, 22.5.1943, sowie Prandtl an Lorenz, 24.5.1943, beides MPG-Archiv, III, 61/2117. Daß die Sitzung stattfand, wird durch spätere Korrespondenz belegt.

97 Deist, Rüstungsforschung, 363 f.

hältnisse zuzuschneiden, sowohl rhetorisch (vor 1939) als auch im Bereich der tatsächlichen Forschungsaktivitäten (spätestens ab 1939).

Als Einschränkung muß ergänzt werden, daß militärische Interessen nicht identisch mit Interessen an militärtechnologischer Entwicklung waren. Genaugenommen bestand die Konvergenz der Interessen zwischen den Wissenschaftlern und jenen Gruppen in Staat und Wehrmacht, die an der Entwicklung militärischer Technologien ein echtes Interesse hatten. Wahrscheinlich sollte im Hinblick auf die Kriegsforschung zwischen mindestens drei (und nicht nur zwei) Akteursgruppen unterschieden werden: den Wissenschaftlern, den Rüstungstechnologen und den kriegführenden Militärs. Meine Vermutung ist, daß, soweit überhaupt von Ineffektivitäten des „Einsatzes“ der Wissenschaften im Krieg gesprochen werden kann, diese zum großen Teil auf Spannungen zwischen den letzten beiden Gruppen zurückgingen, während die Interaktionen zwischen Wissenschaftlern und Rüstungstechnologen weitgehend unproblematisch verliefen. Es wäre zu prüfen, ob nicht die bekannten Phasen der NS-Wissenschafts„politik“⁹⁸ von der wechselnden, stark vom Kriegsverlauf beeinflussten Machtposition der mittleren Gruppe abhingen.

Jedenfalls lassen sich diese Phasen auch in der zeitlichen Entwicklung der Kriegsaufträge des KWI für Strömungsforschung wiederfinden. Das im dritten Abschnitt zusammengetragene Material läßt vier Verschiebungen deutlich erkennen: 1) In der Aufrüstungsphase zwischen etwa 1935 und 1939 wurde die theoretisch gezielte Forschung der Weimarer Zeit ohne wesentliche Modifikation der Forschungsthemen in die rasch wachsenden Netze militärischer Auftragsforschung eingebunden. 2) Die „Blitzkriegsphase“ 1939/40 wird durch eine kurzfristige Restriktion grundlagenorientierter Vorhaben gekennzeichnet. 3) Diese wurde bald, spätestens jedoch ab 1941/42 durch eine erneute Expansion abgelöst, wobei theoretische Forschungsvorhaben so umgearbeitet wurden, daß der Aspekt der Bereitstellung und Optimierung von (Rechen-, Meß-, Experimental-) Verfahren betont wurde. 4) Zum Kriegsende hin fand eine deutliche Dynamisierung statt, in der die Forschungsprojekte zunehmend auf neue Technologien wie Hochgeschwindigkeitsflugzeuge, Raketen, Torpedos u.dgl. zugeschnitten wurden.

Die bemerkenswert raschen und wissenschaftlich-technisch durchaus produktiven Anpassungen des Forschungsprogramms des KWI für Strömungsforschung an die sich ändernden Umstände von Aufrüstung und Krieg sind das zentrale historische Phänomen, das die vorliegende Studie herausarbeiten möchte. Diese Anpassungen einfach durch eine Abhängigkeit von den beteiligten Geldgebern erklären zu wollen, würde zu kurz greifen. Wie die im Abschnitt „Vorgeschichte“ zitierte Rede Prandtls zur Feier des Baubeginns für den neuen Windkanal der AVA zeigt, war es ja nicht so, daß staatliche Stellen den Strömungsforschern mit dem Zudrehen des Geldhahns gedroht und sie damit zur Umorientierung ihrer Forschung gezwungen hätten. Im Gegenteil, den neuen Geldgebern war „gerade das Beste gut genug“ (vgl. oben, S. 11). Das RLM (und andere Stellen) boten den Wissenschaftlern finanzielle Ressourcen in immer größerem Umfang an, sofern diese nur verstanden, die Bedeutung ihrer Arbeiten für die Rüstung

98 Vgl. z.B. knapp bei Michael Grüttner, Wissenschaftspolitik im Nationalsozialismus, in: Kaufmann (Hg.), Geschichte, S. 557-585, hier S. 579 ff.

entsprechend herauszustreichen (vgl. den Abschnitt „Übersicht“). Die Anpassung der Göttinger Aero- und Hydrodynamik an die Bedingungen des Nationalsozialismus muß deshalb auch als das Resultat aktiver Einmischung seitens der Wissenschaftler und ihrer administrativen Verbündeten verstanden werden. Diese Einmischung ging schließlich sogar so weit, daß leitende Wissenschaftler wie Ludwig Prandtl selbst die Bedingungen mitgestalteten, denen Angehörige ihrer Disziplin während des Krieges unterworfen waren (vgl. den Abschnitt „Führen“). Spätestens hier verliert die Rede von der „Anpassung“ der Wissenschaft an die Bedingungen von Nationalsozialismus und Krieg einen Teil ihres Sinns: Die „Umwelt“, auf die sich Prandtl und seine Kollegen einstellten, wurde nicht zuletzt von ihnen selbst konfiguriert. Dies verschiebt den Blick von Bedingungen, die der Staat den Wissenschaftlern stellte, auf Bedingungen, die es den letzteren überhaupt erst ermöglichten, ihre aktiven Anpassungs- bzw. Konfigurationsleistungen zu erbringen. Was waren die Voraussetzungen dafür, daß Prandtl und seine Mitarbeiter sich so rasch und erfolgreich am Aufbau der Strukturen der Rüstungsforschung beteiligen konnten? Im folgenden seien zwei Elemente einer möglichen Antwort auf diese Frage angedeutet.

Zunächst ist daran zu erinnern, daß in der Mentalität der zentralen Akteure, soweit sie uns bekannt ist, wenig für einen offenen Widerstand gegen die Ziele des NS-Staates sprach. Einige wohlbekannte Tatsachen über Prandtls Haltung nach dem Machtwechsel von 1933 können dies verdeutlichen. Herbert Mehrtens hat darauf hingewiesen, daß Prandtl wie der damalige KWG-Präsident Max Planck zu jenen Wissenschaftlern gehörte, die sich zwar einerseits für ihre jüdischen Fachkollegen einsetzten, andererseits aber nicht bereit waren, dafür ernsthafte Schwierigkeiten für ihre Profession in Kauf zu nehmen.⁹⁹ So bemühte Prandtl in einem Schreiben vom 27.4.1933 an den damaligen Innenminister Wilhelm Frick, den Prandtl kurz vorher kennengelernt hatte, die höchst zweischneidige Unterscheidung zwischen ‚wertvollen‘ und ‚wertlosen‘ Juden und eine offen rassistische Sprache. Bei der Behandlung der sog. „Halbjuden und Viertelsjuden“ in der Wissenschaft (von denen letztere doch immerhin auch „Dreiviertelsdeutsche“ seien) war laut Prandtl

„zu verhüten, daß solche Fälle, wo aus Anlaß des Vorhandenseins eines jüdischen Einschlags soviel bestes Deutschtum vernichtend geschlagen wird, nach einem starren Schema behandelt werden, das von Rassetheoretikern ersonnen wurde, ohne die praktischen Konsequenzen vorherzusehen. [...] die Gefährlichkeit des jüdischen Bevölkerungsteils liegt in seiner Geschlossenheit und in dem unheimlichen Zusammenhalten [...]. Von meinem Standpunkt aus erlaube ich mir dazu zu bemerken, daß nach meinen sehr zahlreichen Feststellungen aus der Vermischung von deutschem und jüdischem Blut ungewöhnlich viele hochbegabte Menschen hervorgehen, die für uns höchst wertvoll sind, sobald es gelingt, sie vom Judentum innerlich zu lösen.“¹⁰⁰

Prandtl akzeptierte schnell, daß derartige Interventionen nutzlos waren. Als er in den Jahren 1934 und 1935 die AVA durch die Fallstricke der Affäre um seinen Mitarbeiter Nikuradse steuerte, nutzte er, gestützt auf das Vertrauen in die eige-

99 Vgl. Mehrtens, Kollaborationsverhältnisse, S. 19-21.

100 Zit. nach Mehrtens, Kollaborationsverhältnisse, S. 20.

ne Unverzichtbarkeit, geschickt die Handlungsmöglichkeiten im neuen Staat.¹⁰¹ Bezeichnend ist auch sein Verhalten im Verlauf der „Gleichschaltung“ der Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM), der professionellen Vereinigung der Aerodynamiker und technischen Mechaniker, deren Vorsitzender Prandtl seit ihrer Gründung im Jahr 1922 war.¹⁰² Im Sommer 1933 boten die beiden anderen Vorstandsmitglieder, Richard von Mises und Hans Reißner, an, aufgrund ihrer jüdischen Abstammung „freiwillig“ zurückzutreten. Prandtl gedachte zunächst, sich diesem Rücktritt anzuschließen, und bat den Dresdner Mechaniker Erich Trefftz, den Vorsitz in Zukunft zu übernehmen. Trefftz reagierte darauf mit klaren Worten: „Wenn wir jüdische Mitglieder ausschließen müssen, würde ich Auflösung für das würdigste halten.“ Diese Option stieß jedoch auf den entschiedenen Widerstand Prandtls. Die „Notwendigkeit unseres Faches“ erfordere es, die GAMM weiter zu erhalten, „selbst wenn der Ausschluß von jüdischen Mitgliedern verlangt werden sollte“.¹⁰³ Als Richard von Mises im September 1933 schließlich offiziell von seiner Position als Geschäftsführer der GAMM zurücktrat, drückte Prandtl diesem gegenüber zwar sein Bedauern aus, aber er fand sich auch ohne Schwierigkeiten mit der neuen Situation ab, die seine eigene Bedeutung innerhalb der GAMM eher vergrößerte als verringerte.¹⁰⁴ Im Jahr 1938 stand dann ein Anschluß der GAMM an den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) zur Diskussion, der den Ausschluß der verbliebenen jüdischen Mitglieder zur Folge gehabt hätte. In dieser Situation vermied Prandtl, der vor allem um die internationalen Kontakte der GAMM fürchtete, entsprechende Schritte. Trotzdem wurden mit seiner ausdrücklichen Zustimmung ab diesem Zeitpunkt jüdische Mitglieder, die mit ihren Beiträgen im Rückstand waren, vom Vorstand der GAMM stillschweigend aus den Mitgliederlisten gestrichen.¹⁰⁵

Sprechen diese Ereignisse für Prandtls Bereitschaft zum Arrangement mit den neuen Verhältnissen, so zeigt ein Briefwechsel mit dem führenden britischen Aerodynamiker Geoffrey Ingram Taylor, auf den bereits Cordula Tollmien hingewiesen hat, daß er den NS-Staat auch zu verteidigen bereit war.¹⁰⁶ Prandtl und Taylor waren auf dem Internationalen Mechanik-Kongreß 1938 in Cambridge, Massachusetts, über die Politik des NS-Staates aneinandergeraten. Prandtls befürwortende Stellungnahme als angesehenster deutscher Aerodynamiker erregte dort offenbar einiges Aufsehen. Im Anschluß an diese Kontroverse suchte Prandtl Taylor im Oktober 1938 brieflich davon zu überzeugen, daß Hitler sich zwar „eine Million Menschen in Deutschland zu erbitterten Feinden gemacht [habe], aber dafür achtzig Millionen zu treuesten und begeisterten Anhängern.“

101 Vgl. Abschnitt „Vorgeschichte“ sowie die Einzelheiten in den in den Anmerkungen 19 und 26 genannten Arbeiten von Tollmien und Trischler. Für die Selbstsicherheit Prandtls spricht auch die Tatsache, daß er trotz seiner hervorgehobenen Stellung nie der NSDAP beitrug, vgl. Tollmien, Kaiser-Wilhelm-Institut, S. 696.

102 Für das Folgende vgl. Herbert Mehrrens, Die „Gleichschaltung“ der mathematischen Gesellschaften im nationalsozialistischen Deutschland, in: Jahrbuch Überblicke Mathematik 18, 1985, S. 83-103, hier S. 96 ff.

103 Beide Zitate bei Mehrrens, „Gleichschaltung“, S. 97. Hervorhebung im Original.

104 Vgl. Prandtl an von Mises, 26.9.1933, sowie von Mises an Prandtl, 2.10.1933, MPG-Archiv, III, 61/1996.

105 Vgl. Mehrrens, „Gleichschaltung“, S. 97 f.; weitere diesbezügliche Korrespondenz im MPG-Archiv, III, 61/2001-2004. Darunter befinden sich auch Listen mit den Namen der gestrichenen Mitglieder vom 18.5.1938 und 14.12.1938.

106 Vgl. für das Folgende Tollmien, Kaiser-Wilhelm-Institut, S. 696 f.

Der Kampf, den Deutschland gegen die Juden (und deren Komplott mit Freimaurern und Kommunisten) habe führen müssen, sei zu seiner Selbsterhaltung notwendig gewesen. Prandtl lud Taylor nach Deutschland ein, um sich mit eigenen Augen „davon zu überzeugen, daß wir hier doch sehr gut regiert werden.“ Noch im August 1939, als sich die Möglichkeit eines Krieges bereits abzeichnete, betonte Prandtl in einem weiteren Brief an Frau Taylor, daß Deutschland viel für den Frieden getan habe und nur „die letzten Reste des Vertrages von Versailles“ beseitigen wolle.¹⁰⁷ Schon wenige Monate später war Prandtl dabei, das Forschungsprogramm seines Instituts ganz auf die Kriegslage auszurichten. Offenbar hielt er seinen Staat auch unter diesen Bedingungen noch für verteidigungswert. Bedenkt man die Unterstützung und die Möglichkeiten, die seiner Disziplin eingeräumt wurden, ist das nicht allzu überraschend.¹⁰⁸

Damit komme ich zur zweiten Schicht von Voraussetzungen, welche die rasche Anpassung des KWI für Strömungsforschung an die Strukturen der Kriegsforschung ermöglichten. Sie liegen in der Leichtigkeit, mit der sich die sog. Grundlagenforschung hin zur Entwicklung fundamentaler apparativer und epistemischer Verfahren, für die ein militärtechnologischer Bedarf bestand, verschieben ließ. Nach einem Vorschlag Hans-Jörg Rheinbergers kann Forschung als ein Geschehen beschrieben werden, das sich in einem Feld mit zwei Schlüsseldimensionen bewegt. In jeder Forschungsepisode wird einerseits an bestimmten „epistemischen Dingen“ gearbeitet, d. h. an variablen Problembündeln, die durch einen bestimmten Forschungsgegenstand erzeugt sind. Dies kann nur gelingen, wenn andererseits epistemische und apparative Techniken zur Verfügung stehen, mit denen diese Problembündel sowohl faßbar gemacht wie auch partiell beantwortet werden können. Dadurch wird der Forschungsgegenstand stabilisiert und allmählich transformiert. Die epistemischen Dinge sind die problemerzeugenden, zukunftsöffnenden Elemente der Forschung; die epistemischen und apparativen Techniken liefern die antworterzeugenden, bereits in der Vergangenheit konstituierten und die Gegenwart stabilisierenden Elemente. Beide Komponenten befinden sich in permanenter Interaktion, in bestimmten Hinsichten geklärte epistemische Dinge können zu Werkzeugen werden, mit denen andere epistemische Dinge bearbeitet werden, und umgekehrt können Techniken, die in neuen Situationen nicht mehr wie gewohnt funktionieren, neue Problembündel erzeugen, d. h. zu epistemischen Dingen werden.¹⁰⁹

107 Die Zitate aus Prandtls Briefen an Taylor und seine Frau ebd.

108 Angesichts des hier zusammengetragenen Materials erscheint folgende knappe, der derzeit detailliertesten Displingeschichte der Aerodynamik entnommene Beschreibung der Aktivitäten Prandtls während der NS-Zeit nicht nur widersprüchlich, sondern rundheraus irreführend: Prandtl „remained at Göttingen throughout World War II, engrossed in his work and seemingly insulated from the politics of Nazi Germany and the privations and destructions of the war. In fact, the German Air Ministry provided new equipment and financial support for Prandtl’s laboratory.“, vgl. Anderson, *History of Aerodynamics*, S. 258.

109 Vgl. Hans-Jörg Rheinberger, *Experiment – Differenz – Schrift. Zur Geschichte epistemischer Dinge*, Marburg 1992, S. 69-72; ders., *Epistemic Things*, S. 28-31. Um auch theoretische (etwa mathematische) Forschungsaktivitäten analysieren zu können, in welchen materielle Apparate keine zentrale Rolle spielen, weiche ich von Rheinbergers Unterscheidung zwischen epistemischen und technischen Dingen etwas ab, vgl. Moritz Epple, *Die Entstehung der Knotentheorie. Kontexte und Konstruktionen einer modernen mathematischen Theorie*, Wiesbaden 1999, S. 14 ff.

Zu den epistemischen Dingen, die am KWI für Strömungsforschung bearbeitet wurden, gehören unter anderem die „Grenzschichten“ aerodynamischer Umströmungen von Körpern oder die Phänomene „Turbulenz“ und „Kavitation“. Bei allen handelte es sich um mehr oder weniger scharf umgrenzte Konstruktionen von Forschungsgegenständen, die weit mehr unverstandene als verstandene Aspekte aufwiesen und insbesondere sowohl mit Fragen über die „Grundgesetze“ der Strömungsmechanik als auch mit Fragen des Designs einer ganzen Reihe technologischer Objekte (Flugzeuge, Windkanäle, Geschosse, ...) unmittelbar verknüpft waren. Wir haben es daher mit einem Forschungszweig zu tun, dessen epistemische Dinge sich von vornherein mit militärisch nutzbaren Technologien berührten. Eine These, die durch das hier untersuchte Material nahegelegt wird, ist nun, daß es zur Anpassung eines solchen Forschungszweigs an Rüstungs- oder Kriegsinteressen genügt, einige wenige problemgenerierende Elemente extern vorzugeben bzw. auf externe Anforderungen abzustimmen, während ansonsten die Dynamik der Forschung nicht eingeschränkt wird. Bereits durch solche punktuellen externen Verknüpfungen verlagert sich die wissenschaftliche Aktivität in die antwortgenerierende Dimension, d.h. auf die Nutzung und den Ausbau der vorhandenen apparativen und epistemischen Techniken, die zur Bearbeitung jener Probleme dienen können, welche die extern verknüpften epistemischen Dinge erzeugen.

Im vorliegenden Fall waren solche vorgegebenen problemerzeugenden Elemente beispielsweise der „Schnellstflug“ bzw. präziser, gewisse isolierbare Forschungsgegenstände innerhalb dieses Problemkomplexes wie etwa die Hochgeschwindigkeitsströmung um einen Tragflügel, um einen Raketen- bzw. Torpedokörper oder um ein Strahltriebwerk. Diese Elemente modifizierten die am KWI für Strömungsforschung bearbeiteten epistemischen Dinge. Aus „Grenzschichten“ wurden „Grenzschichtvorgänge der Gasdynamik“, im Problembündel „Turbulenz“ wurden verschiedene einschlägige Teilbündel isoliert wie die Windkanalturbulenz oder der laminar-turbulente Umschlag in (Hochgeschwindigkeits-)Grenzschichten, aus „Kavitation“ wurden „Gleichdruckkonturen von Strahltriebwerken“ (vgl. die Übersicht über die Kriegsforschungen, S. 18). Die externen Verknüpfungen der so modifizierten epistemischen Dinge bestanden dabei nicht nur in Beziehungen des Wissenstransfers in den Bereich der Rüstungsentwicklung, sondern auch in finanziellen und zeitökonomischen Vorgaben. Dadurch wurden die Wissenschaftler dazu gedrängt, die Balance zwischen Problemerzeugung und Problemlösung zugunsten der letzteren, d.h. zugunsten des Einsatzes der ihnen zur Verfügung stehenden epistemischen und apparativen Techniken zu verschieben. In Walter Georgiis Worten vom April 1944:

„Denn eines muss in der heutigen, so ernsten Lage immer und immer wieder allen Ihren Mitarbeitern gegenwärtig sein: die Forschungsaufgaben sind nicht gestellt, um sich durch sie während des Krieges zu beschäftigen, sondern um sie in der kürzestmöglichen Zeit zu lösen, also Ergebnisse zu erzielen.“¹¹⁰

Im Fall des KWI für Strömungsforschung bedeutete das die Nutzung und Optimierung von angepaßten Verfahren des Rechnens und Messens sowie einschlägiger Apparate (Windkanäle, Kavitationsanlagen, Turbulenzmeßgeräte).

110 Rundbrief von Walter Georgii, 18.4.1944, MPG-Archiv, III, 61/2173. Hervorhebungen im Original.

In allen hier näher betrachteten Fällen reichten die vorhandenen Techniken aber gerade deshalb nicht aus, weil die problemerzeugenden Objekte Außenbindungen hatten, d.h. weil im Verlauf der Forschungsaktivität nicht frei über sie verfügt werden konnte: Sie konnten nicht ohne weiteres so zurechtgeschnitten werden, daß die vorhandenen Techniken genügten. Dadurch wurden aber die verfügbaren Verfahren und Apparaturen der Problemlösung selbst zum Problem, d.h. sie wechselten die Dimension. Neue apparative und epistemische Techniken mußten konstruiert werden, die numerischen Verfahren der Grenzschichtrechnung oder die Kavitationsanlage wurden zu epistemischen Dingen. Erst in dem Moment, in dem solche Verfahren oder Apparate zur „Betriebsreife“ gebracht wurden (wie Prandtl über Görtlers Rechenverfahren schrieb, vgl. oben, S. 27 f.), bzw., in Bruno Latours Worten, erst als sie wieder zu „black boxes“ in anderen Forschungs- oder Entwicklungsnetzen wurden,¹¹¹ nahmen sie wieder den Charakter von epistemischen Techniken an.

So blieb der dynamische Austausch zwischen den beiden Dimensionen erhalten, aber er verschob sich in eine Richtung, in der das Produkt wissenschaftlicher Forschung vor allem Verfahren und Apparate waren. Davon profitierten nicht nur (militär-)technologische Abnehmer, sondern auch, ggf. unter erneut veränderten Bedingungen, die Wissenschaftler selbst. Denn die neuen Verfahren bargen auch und gleichzeitig mit ihrer heteronomen, technologischen Nutzbarkeit ein Potential der autonomen Erzeugung neuer epistemischer Dinge: Mit neuen Turbulenzmeßgeräten konnten nicht nur Hochgeschwindigkeitswindkanäle verbessert, sondern auch alle möglichen Feinstrukturen turbulenter Strömungen empirisch untersucht werden; ähnliches gilt in den anderen Fällen. Verfahren und Apparate gestatten in aller Regel mehr als eine Weise ihres Einsatzes. Wichtig ist, daß dieser Adaptationsmechanismus keine grundsätzliche Rekonstitution eines Forschungsgebiets erfordert, dessen epistemische Dinge ohnehin eine Nähe zu militärisch interessanten Technologien besitzen. Er funktioniert, könnte man sagen, im Rahmen des natürlichen Adaptationsspektrums des betreffenden wissensproduzierenden „Systems“.



Zu Beginn dieser Studie habe ich angedeutet, daß die Geschichte der Kriegsforschung am KWI für Strömungsforschung als eine Geschichte der Reibungslosigkeit erzählt werden kann – *modulo* permanenter Turbulenz in der Grenzschicht zu den politischen Strukturen. Sieht man von den ersten ein bis zwei Jahren des Zweiten Weltkrieges ab, standen den Göttinger Luftfahrtforschern unter den Bedingungen von Aufrüstung und Krieg sogar bessere Forschungsressourcen zur Verfügung als in der Weimarer Zeit. Da weder auf der Ebene der politisch-moralischen Einstellungen der Wissenschaftler noch auf der Ebene der Forschungsdynamik Hindernisse für eine Beteiligung an den staatlichen und militärischen Strukturen des Nationalsozialismus existierten, ist höchstens die Geschwindigkeit, nicht aber die Tatsache der Integration der Strömungsforschung in diese Strukturen überraschend.

¹¹¹ Vgl. z.B. Bruno Latour/Steve Woolgar, *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills 1979, S. 148 f., 242.

Dadurch wird eine Frage aufgeworfen, mit der ich diese Arbeit schließen möchte. Zeigt nicht die Geschichte der Kriegsforschung am KWI für Strömungsforschung (und an vielen anderen, ähnlichen Institutionen¹¹²), daß signifikant an der NS-Periode einer Technowissenschaft wie der Strömungsforschung weniger das Entstehen spezifischer, vor oder nach dem Nationalsozialismus nicht vorhandener Strukturen ist, als vielmehr umgekehrt das Fehlen struktureller Elemente, die eine Beteiligung an diesem verbrecherischen Regime hätten verhindern können. Auf der Ebene des sozialen Handelns der beteiligten Individuen berührt sich dieser Befund mit der zuletzt von Zygmunt Bauman nachdrücklich beschriebenen Erzeugung moralischer Indifferenz in modernen Gesellschaften als eines zentralen Faktors in der Ermöglichung des Holocaust.¹¹³ Auf der Ebene der Strukturen der Disziplin ist wesentlich schwerer zu fassen, wie Elemente beschaffen sein müßten, die ein Gegengewicht zu der weitgehenden Adaptationsfähigkeit technowissenschaftlicher Forschung an militärische Interessen beliebiger Regimes bilden könnten. Dies ist ein politisch-moralisches Problem, das auch nach 1945 und nicht nur in Deutschland fortbesteht und dessen Ungelöstheit in jedem technologisch geführten Krieg erneut fatale Folgen haben kann.

112 Vgl. im Rahmen des Forschungsprogramms insbesondere Maier, „Wehrhaftmachung“.

113 Vgl. Zygmunt Bauman, *Dialektik der Ordnung. Die Moderne und der Holocaust*, Hamburg 1992.

QUELLEN

Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin (MPG-Archiv)

I. Abt., Rep. 1A (Generalverwaltung)

I. Abt., Rep. 44 (Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung)

III. Abt., Rep. 61 (Nachlaß Ludwig Prandtl)

Imperial War Museum, London

BIOS Final Report 760, German war-time developments in fluid turbulence with particular reference to the lower atmosphere and the meteorology of chemical warfare

LITERATUR

- ANDERSON Jr., John D., A History of Aerodynamics and its Impact on Flying Machines, Cambridge 1997
- BAUMAN, Zygmunt, Dialektik der Ordnung. Die Moderne und der Holocaust, Hamburg 1992
- BETZ, Albert, Die Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen. Ein Beitrag zu ihrer Geschichte, in: Walter Boje/Karl Stuchtey (Hg.), Beiträge zur Geschichte der Deutschen Luftfahrtwissenschaft und Technik, Berlin 1941, S. 3-166
- BOOG, Horst, Die deutsche Luftwaffenführung 1935–1945. Führungsprobleme, Spitzengliederung, Generalstabsausbildung, Stuttgart 1982
- CIESLA, Burghard, Abschied von der „reinen“ Wissenschaft. „Wehrtechnik“ und Anwendungsforschung in der Preußischen Akademie nach 1933, in: Wolfram Fischer u. a. (Hg.), Die Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1914–1945, Berlin 2000, S. 483-513
- DEIST, Wilhelm, Rüstungsforschung und Wehrmacht. Ein Kommentar, in: Doris Kaufmann (Hg.), Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 363-370
- EPPLE, Moritz, Die Entstehung der Knotentheorie. Kontexte und Konstruktionen einer modernen mathematischen Theorie, Wiesbaden 1999
- Ders./Volker Remmert, „Eine ungeahnte Synthese zwischen reiner und angewandter Mathematik“. Kriegsrelevante mathematische Forschung in Deutschland während des II. Weltkrieges, in Doris Kaufmann (Hg.), Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 258-295
- GÖRTLER, Henry, Weiterentwicklung eines Grenzschichtprofils bei gegebenem Druckverlauf, in: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 19, 1939, S. 129-140
- GRÜTTNER, Michael, Wissenschaftspolitik im Nationalsozialismus, in: Doris Kaufmann (Hg.), Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 557-585
- HODGES, Andrew, Alan Turing, Enigma, Berlin 1989
- KÁRMÁN, Theodore von, Aerodynamik. Ausgewählte Themen im Lichte der historischen Entwicklung, Genf 1956

- KAUFMANN, Doris, Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, 2 Bde., Göttingen 2000
- Dies., Wissenschaft im Nationalsozialismus, in: Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. (Hg.), Ethos der Forschung. Ethics of Research. Ringberg-Symposium Oktober 1999, München 2000, S. 11-23
- KLEE, Ernst, Auschwitz, die NS-Medizin und ihre Opfer, Frankfurt/Main 1997
- LATOUR, Bruno/Steve Woolgar, Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts, Beverly Hills 1979
- LUDWIG, Karl-Heinz, Technik und Ingenieure im Dritten Reich, Düsseldorf 1974
- MAIER, Helmut, „Wehrhaftmachung“ und „Kriegswichtigkeit“. Zur rüstungstechnologischen Relevanz des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart vor und nach 1945 (= Ergebnisse. Vorabdrucke aus dem Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“, Heft 5), Berlin 2002
- MANEGOLD, Karl-Heinz, Universität, Technische Hochschule und Industrie. Ein Beitrag zur Emanzipation der Technik im 19. Jahrhundert unter besonderer Berücksichtigung der Bestrebungen von Felix Klein, Berlin 1970
- MEHRTENS, Herbert, Die „Gleichschaltung“ der mathematischen Gesellschaften im nationalsozialistischen Deutschland, in: Jahrbuch Überblicke Mathematik 18, 1985, S. 83-103
- Ders., Moderne – Sprache – Mathematik. Eine Geschichte des Streits um die Grundlagen der Disziplin und des Subjekts formaler Systeme, Frankfurt/Main 1990
- Ders., Kollaborationsverhältnisse. Natur- und Technikwissenschaften im NS-Staat und ihre Historie, in: Christoph Meinel/Peter Voswinkel (Hg.), Medizin, Naturwissenschaft und Technik im Nationalsozialismus. Kontinuitäten und Diskontinuitäten, Stuttgart 1994, S. 13-32
- Ders., Mathematics and War. Germany, 1900–1945, in: Paul Forman/José M. Sánchez-Ron (Hg.), National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology. Studies in the 20th Century History, Dordrecht 1996, S. 87-134
- NEUFELD, Michael J., Die Rakete und das Reich. Wernher von Braun, Peenemünde und der Beginn des Raketenzeitalters, 2. Aufl., Berlin 1999
- OSWATITSCH, Klaus/Karl Wieghardt, Ludwig Prandtl and his Kaiser-Wilhelm-Institut, in: Annual Review of Fluid Mechanics 19, 1987, S. 1-25
- PRANDTL, Ludwig, Geschichtliche Vorbemerkungen, in: Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, 1. Lieferung, München 1921, S. 1-7

- Ders./Hermann Schlichting, Das Widerstandsgesetz rauher Platten, in: Werft, Reederei, Hafen 15, 1934, S. 1-4
- Ders., Gesammelte Abhandlungen, hg. von Walter Tollmien, Hermann Schlichting und Henry Görtler, 3 Bde., Berlin 1961
- REMMERT, Volker R., Mathematicians At War. Power Struggles in Nazi Germany's Mathematical Community – Gustav Doetsch and Wilhelm Süss, in: *Revue d'histoire des mathématiques* 5, 1999, S. 101-153
- RHEINBERGER, Hans-Jörg, Experiment – Differenz – Schrift. Zur Geschichte epistemischer Dinge, Marburg 1992
- Ders., Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube, Stanford 1997
- Ders., Virusforschung an den Kaiser-Wilhelm-Instituten für Biochemie und Biologie, in: Doris Kaufmann (Hg.), *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung*, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 667-698
- ROTTA, Julius C., Die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen, ein Werk Ludwig Prandtls. Ihre Geschichte von den Anfängen bis 1925, Göttingen 1990
- ROWE, David E., Klein, Hilbert, and the Göttingen Mathematical Tradition, in: *Osiris* 5, 1989, S. 186-213
- SCHLICHTING, Hermann, An Account of the Scientific Life of Ludwig Prandtl, in: *Zeitschrift für Flugwissenschaften* 23, 1975, S. 297-316
- TOLLMIEN, Cordula, Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung verbunden mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt, in: Heinrich Becker u. a. (Hg.), *Die Universität Göttingen unter dem Nationalsozialismus*, 2. Aufl., München 1998, S. 684-708
- TRISCHLER, Helmuth, Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland, 1900–1970. Politische Geschichte einer Wissenschaft, Frankfurt/Main 1992
- ders., „Big Science“ or „Small Science“? Die Luftfahrtforschung im Nationalsozialismus, in: Doris Kaufmann (Hg.), *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung*, 2 Bde., Göttingen 2000, S. 328-362
- WALCHNER, Otto, Profilmessungen bei Kavitation, in: Günther Kempf/Ernst Foerster (Hg.) *Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs*, Bd. 1, Hamburg 1932, S. 256-267
- ders./Adolf Busemann, Profileigenschaften bei Überschallgeschwindigkeit, in: *Forschungen aus dem Gebiet des Ingenieurwesens* 4, 1933, S. 87-92

INDEX

- Althoff, Friedrich 9 f.
 Baeumker, Adolf 7, 14, 19 f.,
 33-35
 Benzinger, Theodor 34
 Betz, Albert 7, 9-11, 18, 20, 27
 Biedenkopf 21
 Bosch, Carl 33
 Böttinger, Henry von 9 f.
 Burkhardt 24 f.
 Dönitz, Karl 36
 Flügge, Wilhelm 27
 Föppl, Otto 10
 Frick, Wilhelm 38
 Frössel, Wilhelm 18
 Georgii, Walter 33, 35, 41
 Göring, Hermann 6, 20, 33
 Görtler, Henry 18, 20 f., 27 f., 42
 Hippke, Erich 34
 Horten, Reimar 36
 Horten, Walter 36
 Kármán, Theodore von 10
 Klein, Felix 9 f.
 Krull, Wolfgang 32
 Lippisch, Ernst 36
 Lotz, Irmgard 27
 Mentzel, Rudolf 19
 Milch, Erhard 7, 20, 33, 35
 Mises, Richard von 39
 Munk, Max 10
 Nagel, Otto 11
 Nikuradse, Johann 11, 24, 38
 Oswatitsch, Klaus 11, 18, 21 f.
 Planck, Max 38
 Prandtl, Ludwig 7, 9-11, 13-22,
 24-42
 Reichardt, Hans 18, 20 f., 29, 31
 Reißner, Hans 39
 Ritz 27
 Roth, J. F. 16 f.
 Rothstein, Wolfgang 22
 Schlichting, Hermann 24
 Schröder, Kurt 27 f.
 Schuh 18
 Schultz-Grunow, Fritz 21
 Seewald, Friedrich 33, 35
 Strughold, Hubertus 34
 Taylor, Geoffrey Ingram 39 f.
 Telschow, Ernst 19, 35
 Tollmien, Walter 18, 20
 Trefftz, Erich 39
 Walchner, Otto 22, 27
 Weltz, Georg August 34
 Wernitz 30
 Wieghardt, Karl 11, 22, 25, 32

AUTOR

PD Dr. Moritz Epple

Studium der Philosophie, Physik und Mathematik in Tübingen, Kopenhagen und London. Promotion in mathematischer Physik an der Universität Tübingen. Von 1992 bis 1998 Assistent für Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften an der Universität Mainz. Habilitation im Jahr 1998. Danach Lehr- und Forschungsaufenthalte in Bonn, Cambridge/Mass. und Berlin. Heisenberg-Stipendiat der DFG.

Gastwissenschaftler im Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“ vom 1. März bis 31. Mai 2000. Forschungsvorhaben: Kriegsbezogene mathematische Forschung in NS-Deutschland, insbesondere in Institutionen der Luftfahrtforschung.

Andere Arbeitsschwerpunkte: Geschichte der Mathematik des 19. und 20. Jahrhunderts, insbesondere der Topologie. Beziehungen zwischen Philosophie und Geschichte der Mathematik.

Veröffentlichungen u. a.:

- Moritz Epple: *Topology, Matter, and Space, I. Topological Notions in 19th-century Natural Philosophy*, in: *Archive for History of Exact Sciences* 52, 1998, S. 297-392;
- Moritz Epple: *Die Entstehung der Knotentheorie. Kontexte und Konstruktionen einer modernen mathematischen Theorie*, Wiesbaden 1999;
- Moritz Epple/Volker Remmert: „Eine ungeahnte Synthese zwischen reiner und angewandter Mathematik“. *Kriegsrelevante mathematische Forschung in Deutschland während des 2. Weltkrieges*, in: Doris Kaufmann (Hg.), *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung*, Göttingen 2000, S. 258-295.

Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“
Research Program “History of the Kaiser Wilhelm Society in the National Socialist Era”

ERGEBNISSE

- 1 Hans-Walter Schmuhl, **Hirnforschung und Krankenmord. Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung 1937–1945**
- 2 Robert N. Proctor, **Adolf Butenandt (1903–1995). Nobelpreisträger, Nationalsozialist und MPG-Präsident. Ein erster Blick in den Nachlaß**
- 3 Carola Sachse/Benoit Massin, **Biowissenschaftliche Forschung an Kaiser-Wilhelm-Instituten und die Verbrechen des NS-Regimes. Informationen über den gegenwärtigen Wissensstand**
- 4 Susanne Heim, **Research for Autarky. The Contribution of Scientists to Nazi Rule in Germany**
- 5 Helmut Maier, **„Wehrhaftmachung“ und „Kriegswichtigkeit“. Zur rüstungstechnologischen Relevanz des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart vor und nach 1945**
- 6 Moritz Epple, **Rechnen, Messen, Führen. Kriegsforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung (1937–1945)**

Bezugsadresse:

Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“
Glinkastraße 5–7
D-10117 Berlin
Tel.: 0049–(0)30–2 26 67–154
Fax: 0049–(0)30–2 26 67–333
Email: kwg.ns@mpiwg-berlin.mpg.de

