Matthias Berg / Jens Thiel / Peter Th. Walther (Hg.)

Mit Feder und Schwert

Militär und Wissenschaft – Wissenschaftler und Krieg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

ISBN 978-3-515-09606-5

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzung, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen. Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier. © 2009 Franz Steiner Verlag Stuttgart. Druck: Printservice Decker & Bokor, Bad Tölz. Printed in Germany

INHALT

Matthias Berg, Jens Thiel, Peter Th. Walther: Einleitung	9
I.	
Rüdiger Hachtmann: "Rauher Krieg" und "friedliche Forschung"? Zur Militarisierung der Wissenschaften und zur Verwissenschaftlichung des Krieges im 19. und 20. Jahrhundert	25
Martin Winter: Militärwissenschaft oder militärische Wissenschaft? Zur Entwicklung von militärbezogenen Bildungseinrichtungen im deutschen Sprachraum des 18. und frühen 19. Jahrhunderts	57
Sven Haase: Der patriotische Ernstfall und seine Literarisierung. Berliner Professoren und Studenten in den Befreiungskriegen	75
Klaus Ries: Ehre und Nation. Die Bildung einer intergenerationellen Wertegemeinschaft aus dem Geiste des Freiheitskrieges	95
II.	
Sören Flachowsky: "So viel ich kann, bemühe ich mich, der Heeresverwaltung nützlich zu sein." Wissenschaftler als Krisenmanager zwischen 1914 und 1945. Emil Fischer – Rudolf Schenck – Adolf Fry	107
Christoph Roolf: Eine "günstige Gelegenheit"? Deutsche Wissenschaftler im besetzten Belgien während des Ersten Weltkrieges (1914–1918)	137
Arne Schirrmacher: Von der Geschossbahn zum Atomorbital? Möglichkeiten der Mobilisierung von Kriegs- und Grundlagenforschung füreinander in Frankreich, Großbritannion und Deutschland. 1914–1924	155

6 . Inhalt

Frank Reichherzer: Wehrwissenschaften. Zum Wechselverhältnis von Krieg und Wissenschaften im Zeitalter der Weltkriege.	<u>:</u> -7
Sabine Schleiermacher: Raumplanung und Seuchenbekämpfung. Geomedizin im Dienste der Kriegsführung	197
III.	
Jens Thiel: Der Dozent zieht in den Krieg. Hochschulkarrieren zwischen Militarisierung und Kriegserlebnis (1933–1945)	211
Matthias Berg: "Die 760 Kisten gehen übermorgen nach Frankfurt." Von der paradigmatischen zur physischen Aneignung von Archivalien durch die nationalsozialistische "Judenforschung"	241
Till Knaudt, Hans Martin Krämer: "Die Naturwissenschaften in der Entscheidungsschlacht". Die Mobilisierung von Wissenschaft und Wissenschaftlern in Japan im Zweiten Weltkrieg	259
Levke Harders: Disziplingenese und Krieg. American Studies im Zweiten Weltkrieg	277
IV.	
Tim B. Müller: Wandel durch Einfühlung. Zur Dialektik der amerikanischen Gegnerforschung im Kalten Krieg	287
Alexia Arnold: Experten im Auftrag der amerikanischen (Militär-)Regierung. Arnold Brecht, Robert Taylor Cole, Carl Joachim Friedrich und Kurt Comstock Glaser	313
Uta Gerhardt: "War der Nationalsozialismus eine schlechte Idee …?" Das Ende des Militarism der Deutschen als Gegenstand der Sozialforschung der amerikanischen Militär-	
regierung 1945–1949	333

Inhalt		7	

V.

Rüdiger vom Bruch:	
Kommentar	357
Abbildungsnachweis	365
Autorenverzeichnis	367
Personenregister	373
reisonemegistei	515

Von der Geschossbahn zum Atomorbital?

Möglichkeiten der Mobilisierung von Kriegs- und Grundlagenforschung füreinander in Frankreich, Großbritannien und Deutschland, 1914–1924*

Arne Schirrmacher

Im Juni des Jahres 1917 erging an die deutschen Truppen ein Befehl, der es fortan verbot, dass ein einzelnes Geschütz bei Stille feuerte, insbesondere wenn Ostwind herrschte. Aufgrund der exzellenten Schallortungsmethoden der Engländer war das Risiko der postwendenden Vergeltung zu groß geworden. Sollte dennoch eine Gelegenheit zum Schießen wahrgenommen werden, so waren die benachbarten Geschützstellungen anzuweisen, auch eine Salve zu feuern.¹

Diese kleine Episode über die erfolgreiche Mobilisierung einer wissenschaftlichen Methode durch die Briten und die eher unbeholfenen Versuche der Deutschen, diese zu unterlaufen, wirft ein Schlaglicht auf das Verhältnis von Wissenschaft und Krieg im Ersten Weltkrieg. Zum einen können wir sie als Indiz für eine weitreichende allgemeine Wende sehen, die sich während des Ersten Weltkrieges ereignete: Innovative Wissenschaft führte zu mitunter radikalen militärischen Konsequenzen. Zum anderen lenkt sie unseren Blick vom oft als Krieg der Chemiker titulierten Ersten Weltkrieg auf die Rolle der Physik und Mathematik. Implizierte der Befehl doch sowohl, dass die Alliierten über neuartige präzise Fähigkeiten der Ortung der deutschen Geschützstellungen verfügten, als auch, dass sie in der Lage waren, diese mit großer Genauigkeit zu bekämpfen. Letzteres zeigt, dass offenbar zugleich eine ballistische Revolution im Gange war, während Ersteres eine neue wissenschaftliche Kriegstechnik offenbart, die zu so großer Bedeutung gelangte, dass sie bisweilen zum Manhattan-Projekt des Ersten Weltkriegs stilisiert wurde.²

Ich möchte in meinem Beitrag die Mobilisierung und Selbstmobilisierung der Wissenschaftler während des Krieges anhand der zwei genannten Beispiele für Frankreich, Großbritannien und Deutschland vergleichend betrachten³, sowie die sich

Für Hinweise und Anregungen danke ich Shaul Katzir, Dieter Hoffmann, Edward Jurkowitz, Norbert Schappacher, Michael Eckert und Frank Reichherzer. Besonderen Dank an David Aubin, der mir freundlicherweise eine vorläufige Version seiner Studie zur französischen Ballistik im Ersten Weltkrieg zur Verfügung gestellt hat.

Von den Briten abgefangener Befehl, abgedruckt in: William Lawrence Bragg, Arthur Henley Dowson, Henry Harold Hemming, Artillery Survey in the First World War, London 1971, 38. Sowohl in Guy Hartcup, The War of Invention: Scientific Developments, 1914–1918, London 1988, 75f., als auch in William van der Kloot, "Lawrence Bragg's Role in the Development of Sound-Ranging in World War I", in: Notes and Records of the Royal Society 59/2005, 273–284, hier 280, fehlt im Zitat des übersetzten Befehls das Wort "alone", was zu der Fehlinterpretation führt, dass den deutschen Truppen das Feuern bei Stille völlig untersagt war.

Peter Chasseaud, "Field Survey in the Salient. Cartography and Artillery Survey in the Flanders Operations in 1917", in: Peter Liddle (Hg.), Passchendaele in Perspective. The Third Battle of Ypres, London 1997, 117–139, hier 120.

Zu Vergleichsperspektiven siehe Jeffrey A. Johnson, Roy M. MacLeod, "War Work and Scientific Self-Image. Pursuing Comparative Perspectives on German and Allied Scientists in the Great War", in: Rüdiger vom Bruch, Brigitte Kaderas (Hg.), Wissenschaften und Wissenschaftspolitik.

daraus ergebenden Anstöße für grundlagenwissenschaftliche Innovationen der Nachkriegszeit exemplarisch diskutieren. Dabei soll die Betrachtung stärker aus der Perspektive einer Wissensgeschichte durchgeführt werden, als dies in der Forschung bislang meist der Fall war, um so über die Beschreibung institutioneller Entwicklungen hinaus zu fragen, welche kognitiven und experimentellen Praktiken sich durch das Phänomen Krieg wandelten und nach seiner Beendigung fortwirkten. Die vergleichende Perspektive offenbart zudem nach Jeffrey Allan Johnson und Roy MacLeod neben "important similarities" auch "extremely different social and institutional orientations and capacities to adapt and respond to the unexpected exigencies of total war". Über die Veränderung des wissenschaftlichen Selbstbildes, seiner Adaption an militärische Aufgaben und den Habitus der Wissenschaftler hinaus lässt sich dieser Befund aber auch auf Art und Form der Mobilisierung kognitiver Ressourcen ausweiten.

Im Falle der Ballistik handelt es sich um die Transformation einer etablierten wissenschaftlichen Methode. Ich skizziere hier Defizite ihrer traditionellen Form, die sich im Ersten Weltkrieg offenbarten, und die verschiedenen nationalen Versuche, sie mit moderner Wissenschaft zu revolutionieren und auf neue Anwendungsfälle wie den Stellungs- und Luftkrieg zu erweitern. Eine kurze Vorgeschichte bettet die Diskussion in die Geschichte der Ballistik ein und stellt die nationalen Institutionen für ballistisches Wissen und ihre unterschiedlichen wissenschaftlichen Herangehensweisen und Praktiken vor.

Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts, Stuttgart 2002, 169-179; Reinhard Siegmund-Schultze, "Military Work in Mathematics 1914-1945. An Attempt at an International Perspective", in: Bernhelm Booß-Bavnbek, Jens Høyrup, Mathematics and War, Basel 2003, 23-82; Michael Eckert, "Theoretische Physiker in Kriegsprojekten. Zur Problematik einer internationalen vergleichenden Analyse", in: Doris Kaufmann (Hg.), Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, Bd. 1, Göttingen 2000, 296-308.

Zum Forschungsstand - jenseits des "Kriegs der Chemiker" - vgl. allgemein David Aubin, Patrice Bret (Hg.), "Le Sabre et l'éprouvette. Invention d'une science de guerre, 1914-1939", Themenheft von 14/18 aujourd'hui, today, heute 6/2003; Helmuth Trischler, "Die neue Räumlichkeit des Krieges: Wissenschaft und Technik im Ersten Weltkrieg", in: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 19/1996, 95-103; Herbert Mehrtens, "Mathematics and War. Germany, 1900-1940", in: Paul Forman, José Manuel Sánchez-Ron (Hg.), National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology, Dordrecht 1996, 87-134; Everett Mendelsohn, Merrit Roe Smith, Peter Weingart (Hg.), Science, Technology and the Military, 2 Bde., Dordrecht 1989; Hartcup, The War of Invention (wie Anm. 1); Michael Pattison, "Scientists, Inventors and the Military in Britain, 1915-1919. The Munitions Inventions Department", in: Social Studies of Science 13/1983, 521-568; Donald L. Cardwell, "Science and World War I", in: Proceedings of the Royal Society of London A 342/1975, 447-456. Für eine umfassendere Perspektive vgl. auch Helmuth Trischler, Hans Weinberger, "Engineering Europe: Big Technologies and Military Systems in the Making of 20th Century Europe", in: History and Technology 21/2005, 49-83; zeitgenössisch aufschlußreich: Bastian Schmidt (Hg.), Deutsche Naturwissenschaft, Technik und Erfindung im Weltkriege, München, Leipzig 1919; allerdings wird zur Ballistik nur der Stand bei Ausbruch des Krieges skizziert, vgl. 233.

Johnson, MacLeod, "War work" (wie Anm. 3), 169.

Der Fall der Schallortung - einer Art "Anti-Ballistik" - beschreibt hingegen die Etablierung eines neuen Feldes der Kriegstechnik.⁶ Die Bekämpfung oder Vereitlung von Angriffen durch aufwändige Ortungstechnologien, die durch die Kombination von grundlagenwissenschaftlichen Ergebnissen aus sehr verschiedenen Bereichen möglich wurde - welche etwa aus der Elektrokardiogramm-Forschung, der Erforschung der Leitfähigkeit von Metallen bei Erwärmung, der Schallaufzeichnung oder -filterung, aber auch aus der Gestaltpsychologie stammten –, stellte eine neue Qualität der Verbindung von Wissenschaft und Krieg dar, die es angemessen erscheinen lässt, beim Ersten Weltkrieg von einem Krieg zu sprechen, der als erster auch ein wissenschaftlicher wurde. Vor dem Hintergrund dieser neuen, sich im Laufe der Kampfhandlungen erst entwickelnden Qualität ist die Frage nach der Mobilisierung, der Selbstmobilisierung und auch der Remobilisierung der Wissenschaft zu stellen. Insbesondere beteiligten sich an all dieser Kriegsforschung Physiker, die vielfach aus den Gebieten der modernen Atom- und Quantenphysik kamen und vor dem Krieg eine eng verbundene internationale Community gebildet hatten (und dies auch in der Nachkriegszeit bald wieder tun sollten). Sie fanden sich nun auf verschiedenen Seiten der Front wieder, wo sie sich mit den gleichen Problemen befassten. Wie unterschieden sich nun die Fragen, die sie sich stellten, wie die Lösungen, die sie umzusetzen suchten? Interessanter noch als wissenschaftliche Leistungen der Physiker im Ersten Weltkrieg im Rahmen eines Vergleichs gegeneinander zu stellen, erscheinen mir indes zwei weiterführende Fragen: In welchem Verhältnis standen, erstens, die neuen Probleme des Krieges zu den selbstgestellten Fragen der Wissenschaftler, welchen Primat konnte das Militärische gegenüber der Wissenschaft reklamieren? Zweitens stellte sich nach Kriegsende die Frage nach der Demobilisierung oder Konversion des in der Kriegsforschung gewonnenen Wissens in der Grundlagenforschung. Wie transformierte die Kriegserfahrung auch Interessen und Methoden der Wissenschaftler, und was bedeutete dies für ihr Wissenschafts-, Welt- und Militärbild? Neben den Beispielen von Max Born und Paul Langevin mag insbesondere der Fall von Douglas Hartree hier einige aufschlussreiche Antworten geben, zeigten doch seine Leistungen in der Atomphysik nach dem Krieg vielfältige Verbindungen zur Kriegsforschung: Sie führten ihn von der Geschossbahn zum Atomorbital und darüber hinaus.

Anne Rasmussen, "Mobiliser, remobiliser, démobiliser. Les formes d'investissement scientifique en France dans la grande guerre", in: Aubin, Bret (Hg.), Le Sabre et l'éprouvette (wie Anm. 4), 49–58.

Es kann hier genauer nur auf die passive Schallortung eingegangen werden; die Entwicklung der als "Sonar" oder "ASDIC" bezeichneten aktiven Technologien am Ende des Ersten Weltkrieges stellt ein weiteres wichtiges Beispiel dar. Vgl. Willem D. Hackmann, "Sonar Research and Naval Warfare, 1914–1954. A Case Study of a Twentieth-Century Establishment Science", in: *Historical Studies in the Physical Sciences 16/1986*, 83–110; David Zimmerman, "Paul Langevin and the Discovery of Active Sonar or Asdic", in: *The Northern Mariner*, 12/2002, 39–52; Bernadette Bensaude-Vincent, *Langevin*, 1872–1946. Science et vigiliance, Paris 1997, Kap V.

Die Ballistik von ihrer Revolutionierung im 18. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg

Die Entstehung der Ballistik war eng mit der wissenschaftlichen Revolution verbunden. Galileo Galilei behandelte 1638 den schiefen Wurf in seinen *Discorsi*, ohne allerdings den Luftwiderstand zu berücksichtigen; Isaac Newton und Christiaan Huygens taten dies bereits, wenn auch in grober Vereinfachung. Die "ballistische Revolution" des 18. Jahrhunderts wird hingegen Benjamin Robins, der 1742 seine *New Principles of Gunnery* veröffentlichte, und Leonhard Euler zugeschrieben, der dieses Buch übersetzte und durch eine eingehendere mathematische Behandlung ergänzte. Henning Friedrich Graf von Graevenitz konnte damit etwa zwei Jahrzehnte später seine umfangreichen ballistischen Tabellen berechnen, die für Geschütze mit kurzer Rohrlänge, geringer Abschussgeschwindigkeit und großem Abschusswinkel bis zum Zweiten Weltkrieg verwendet werden sollten.⁸

Obschon die klassische Mechanik die Wurfbahnen unter Vernachlässigung des Luftwiderstands in eine einfache und handhabbare Form gebracht hatte, sollte doch das realistische ballistische Problem für moderne Geschütze den Mathematikern und Praktikern als andauernde und niemals vollständig zu beantwortende Frage erhalten bleiben. Die sogenannte Hauptgleichung der Ballistik setzt die Änderung der Horizontalgeschwindigkeit in Beziehung zur Änderung des Flugwinkels, wodurch sich eine Differentialgleichung ergibt, die maßgeblich von der Funktion für den Luftwiderstand abhängt. Man musste Näherungsmethoden anwenden, bei denen entweder die Hauptgleichung exakt gelöst werden konnte, aber bei der Berechnung der Orts- und Zeitangaben vereinfachende Annahmen gemacht werden mussten, oder man approximierte die Hauptgleichung und konnte anschließend Ort und Zeit exakt integrieren. Bei Eulers Methode entstanden Fehler bei der Berechnung der Flugbahn, die er aus kleinen geraden Stücken zusammensetzte. Adrien Legendre hatte 1782 vorgeschlagen stattdessen Kreisbogenstücke zu verwenden, was 1873 Francis Bashforth für die britische Armee übernahm⁹ und in seinen Vorlesungen für die "advanced class of artillery officers" an der Royal Military Academy in Woolwich zwischen 1864 und 1880 unterrichtete.¹⁰

In Frankreich verfolgte man die Methode der Reihenentwicklung einer mathematischen Funktion für die näherungsweise Berechnung der Flugbahn. Die Formeln der Commission d'expériences d'artillerie navale de Gâvre, die 1829 gegründet worden war und für die Ballistik der Marine wie der Artillerie zuständig war, entwickelten die Funktion bis zum dritten Glied und legten damit die Grundlage für die französischen Tabellenwerke.¹¹ Der Leiter der Commission war Prosper-Jules Charbonnier, dessen

Brett D. Steele, "Muskets and Pendulums. Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution", in: *Technology and Culture 35/1994*, 348–382.

Vgl. Carl Julius Cranz, Lehrbuch der Ballistik, Bd. 1: Äussere Ballistik oder Theorie der Bewegung des Geschosses von der Mündung der Waffe ab bis zum Eindringen in das Ziel, Leipzig 1910, ²1917, ⁵1925, hier 2. Aufl., 129ff.

George Greenhill, Anita McConnell, "Bashforth, Francis (1819–1912)", in: Oxford Dictionary of National Biography, Bd. 4, Oxford 2004, 230f.

Vgl. Cranz, *Lehrbuch der Ballistik* (wie Anm. 9), ²1917, 135; nach David Aubin, "The War of Guns and Mathematics. Why and How French Mathematicians Collaborated with Military Bal-

1907 erschienene *Balistique extérieure rationelle* das Standardwerk für Frankreich wurde. Hierin wandte er auch die zweite Strategie zur Lösung des ballistischen Problems an, bei der die Hauptgleichung approximiert wurde. Dieser Ansatz wurde seit Mitte des 19. Jahrhunderts in vielfältigen Variationen verwendet und führte zu genaueren Ergebnissen, die jedoch mit einem großen Rechenaufwand erkauft wurden. Die so gewonnenen französischen Tabellen lagen erst 1916 vollständig vor und deckten nun Schusswinkel bis zu 20° und Projektilgeschwindigkeiten bis zu 850 m/s ab. 14

In Deutschland hatte der Professor an der Militärtechnischen Akademie in Berlin-Charlottenburg Carl Julius Cranz 1896 sein Compendium der theoretischen äusseren Ballistik veröffentlicht, das ab 1910 in vielen Auflagen als erster Band eines Lehrbuchs der Ballistik erschien. Seit der zweiten, 1917 erschienenen Auflage wirkte ein Referent der Berliner Artillerie-Prüfungs-Kommission mit, der Hauptmann Karl Becker, damals gerade erst am Beginn seiner später so steilen Karriere. ¹⁵ Cranz' Forschungen richteten sich darauf, durch die Betrachtung so genannter Normallösungen die verschiedenen Lösungsmethoden zu vergleichen und die zu erwartenden Fehler abzuschätzen. Auch für Cranz blieb der Schuss unter Winkeln größer als 20° ungelöst, da präzise Berechnungsmethoden fehlten. ¹⁶

Jedem ballistisch Informierten musste vor diesem Hintergrund zu Kriegsbeginn klar gewesen sein, dass sich empfindliche Defizite der Ballistik offenbaren würden, nicht nur wenn gegnerische Stellungen möglichst steil getroffen werden sollten, um ihre Deckung zu zerstören, sondern vor allem, wenn die Angriffe des Gegners nicht mehr aus Bodenstellungen heraus, sondern aus der Luft stattfanden. Daher sollten mehr noch als die Kämpfe an einer gemeinsamen Front, wie sie zwischen Deutschland, Frankreich und Belgien stattfanden, die Luftangriffe auf England die Ballistik herausfordern.

Herausforderungen und Fortschritte der Ballistik im Ersten Weltkrieg

Frankreich: Zurückeroberung eines wissenschaftlichen Gebiets durch kollektive Kraftanstrengung

Frankreich hatte im Vergleich zu Deutschland oder Großbritannien prinzipiell gute Voraussetzungen für eine rasche Mobilisierung der Wissenschaft, da es enge

- listicians at Gâvre" (Ms. 2009, Publikation in Vorbereitung) wurden jedoch weit kompliziertere empirisch gewonnene Funktionen ebenso verwendet wie die Reihenentwicklung.
- Prosper-Jules Charbonnier, Balistique extérieure rationelle. Problème balistique principal, Paris 1907. Zur Commission allgemein vgl. Léon Patard, Historique de la Commission d'expériences de Gâvre (1829–1930), Paris 1930.
- 13 Cranz, Lehrbuch der Ballistik (wie Anm. 9), ²1917, 135f.
- Aubin, "The War of Guns and Mathematics" (wie Anm. 11).
- Zur wissenschaftspolitischen Bedeutung des späteren Berliner Ordinarius für Ballistik und Präsidenten des Reichsforschungsrats vgl. Sören Flachowsky, Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat. Wissenschaftspolitik im Kontext von Autarkie, Aufrüstung und Krieg, Stuttgart 2008.
- Cranz, Lehrbuch der Ballistik (wie Anm. 9), ²1917, 256.

Verbindungen der Militärs zur Wissenschaft durch die École polytechnique gab, die seit Napoleon als Ausbildungsstätte der technischen Heeresoffiziere vor allem der Artillerie diente. Dennoch ist eine komplexe Entwicklung im Austausch zwischen Wissenschaft und Militär während des Krieges zu verzeichnen. Die militärische Situation verlangte etwa nach höherer Genauigkeit der Schüsse als es die vorhandenen Tabellen ermöglichten, und Konflikte zwischen Theoretikern im sicheren Hinterland und den Artilleristen an der Front entbrannten, welche ihrerseits begannen, ihre eigenen "experimentellen" Korrekturtafeln für die theoretischen Angaben anzufertigen. Das führte dazu, dass zum Teil jede Batterie anderen Angaben vertraute. Die Experten der Commission in Gâvre hingegen wollten die Korrektheit ihrer Tafeln nicht in Frage gestellt sehen und propagierten die Unverzichtbarkeit der Mathematik. Erst Ende 1917 schafften es schließlich nach Gâvre geholte Mathematiker, insbesondere der junge Jules Haag, die alten Methoden zu verfeinern und erfolgreich von einer "wilden" zu einer "wissenschaftlichen" Ballistik zurückzukehren.¹⁷

Großbritannien: Eine (zweite) ballistische Revolution – Douglas Hartree

Kann man für Frankreich die kollektive wissenschaftliche Anstrengung auf dem Gebiet der Ballistik eher als eine Remobilisierung originär französischer Militärwissenschaft interpretieren, so waren britische Wissenschaftler nach dem Krieg eher geneigt, von einer gewissen Revolution der Ballistik zu sprechen, die neue institutionelle und individuelle Helden kannte: die *Anti-Aircraft Experimental Section* und den jungen Physikstudenten Douglas Rayner Hartree.

Seit Januar 1915 griffen die Deutschen England mit Zeppelinen an, die bald zu Dutzenden von Opfern insbesondere in London führten. Das neu gegründete *Ministry of Munitions* sollte sich auch diesem Problem widmen, und ein *Munitions Inventions Department* wurde ins Leben gerufen. Trotz dieser schnell eingerichteten militärischen Strukturen hing aber alles am Engagement von einzelnen Ingenieuren wie Horace Darwin, einem Sohn Charles Darwins, oder Alexander Kennedy und Naturwissenschaftlern wie Archibald Hill.

Hill, der in Cambridge Mathematik studiert hatte, bevor er sich der Physiologie zuwandte, versuchte bald nach Kriegsausbruch, in Cambridge Kollegen für die Luftabwehrforschung zu rekrutieren, wobei er mit mehreren Problemen zu kämpfen hatte. Nicht nur waren die Rekrutierungsstellen ablehnend bei der Bereitstellung

David Aubin, "The War of Guns and Mathematics. French Mathematicians, Ballisticians and Artillerymen in World War I (The Case of Jules Haag at Gâvre)", in: *Oberwolfach Report 24/2008*, 1349ff., und ausführlich Ders., "The War of Guns and Mathematics" (wie Anm. 11). – Die Frage, inwieweit es sich hier um grundlegend neuartige Methoden gehandelt hat, um neue Berechnungsverfahren auf der üblichen theoretischen Grundlage oder lediglich um Verfeinerungen der alten Methoden, kann hier nicht beantwortet werden, da dies ein detailliertes Eindringen in die mathematischen Entwicklungen erfordern würde. Zumindest war letztere Sicht unter bekannten (reinen) Mathematikern in Frankreich wie Jacques Hadamard oder Henri Lebesgue offenbar verbreitet, vgl. ebd. Zum französischen Garnier-Haag-Marcus-Verfahren und seiner Genauigkeit im Vergleich mit anderen Methoden vgl. Hellmuth Molitz, Reinhold Strobel, Äußere Ballistik, Berlin 1963, 265–268, 299ff.

geeigneten Personals, auch fähige Forscher entzogen sich der Aufforderung, freiwillig für das Vaterland zu dienen. Der prominente Mathematikerkollege Godfrey Harold Hardy meinte etwa, er sei zwar "ready to go off and have his body shot at", aber "not prepared to prostitute his brains for the purpose for war". 18 Unter den Cambridger Wissenschaftlern, die Hills Ruf folgten, waren aber neben den Mathematikern Ralph Fowler und Edward Milne auch Vater und Sohn Hartree. Der Vater William war Lecturer in Electrical Engineering und sollte nach dem Krieg enger Mitarbeiter Hills werden, der Sohn Douglas hatte 1915 erst sein Studium am St. John's College in Cambridge begonnen und absolvierte das erste Jahr des Mathematical Tripos, bevor auch er für die Anti-Aircraft Experimental Section arbeitete. 19 Neben "Hill's Brigades", die dem Munitions Inventions Department unterstanden, gab es auch noch eine Computing Group, geleitet von dem Statistiker und Eugeniker Karl Pearson.²⁰ Man kooperierte zudem mit dem National Physical Laboratory, einer im Jahre 1900 gegründeten militärischen Forschungsinstitution. Statt einer strukturierten Mobilisierung finden wir in Großbritannien die selektive Eigeninitiative der Wissenschaftler, die ihre wissenschaftlichen Netzwerke in militärische Strukturen überführten.

Unter diesen Umständen – so pries Charles Galton Darwin (Enkel von Charles Darwin und Neffe des Ingenieurs Horace Darwin) später die Leistungen des erst Zwanzigjährigen - habe Douglas Hartree eine Reform der ballistischen Methode begründet, die Jahrzehnte später zwar kaum mehr als revolutionär wahrgenommen wurde, die aber die alten Praktiker der Ballistik "aufgeschreckt" haben musste. Statt des Winkels führte Hartree die seit dem 18. Jahrhundert aus der Ballistik eliminierte Zeit als unabhängige Variable wieder ein, eine Praxis, die nach dem Krieg bald allgemein akzeptiert wurde.²¹ Weder Flugbahn noch Flugzeit waren in der traditionellen Ballistik von besonderem Interesse, denn allein der Auftreffpunkt war zu berechnen. Nun galt es für die Engländer, das Problem der Bekämpfung eines Angreifers aus der Luft wissenschaftlich zu lösen. Die Aufgabe der Lokalisierung und Bekämpfung von derartigen Angriffen übertraf aber die Komplexität der Ortsbestimmung von Geschützen am Boden bei weitem, denn die gesamte Geschossbahn musste unter Berücksichtigung von Luftwiderstand und Wind berechnet werden. Douglas Hartree erkannte vermutlich als erster, dass das System von Differentialgleichungen, das er mit Hilfe der Zeitvariablen neu formuliert hatte, in ein anderes, ein so genanntes "adjungiertes" überführt werden kann, mit dem die gesuchten Lösungen numerisch

¹⁸ Ich folge hier June Barrow-Green, "Planes and Pacifism: Activities and Attitudes of British Mathematicians During World War I", Gresham College Lecture, in: http:///www.gresham.ac.uk/printtranscript.asp?EventId=616 (15.11.2007).

Zu Vater und Sohn Hartree vgl. ausführlich Charlotte Froese Fischer, Douglas Rayner Hartree:
His Life in Science and Computing, New Jersey 2003.

Zu den Strukturen vgl. Barrow-Green, "Planes and Pacifism" (wie Anm. 18) und die Vortragsfolien http://www.gresham.ac.uk/uploads/Planes and pacifism.ppt (30.7.2009), Folie 13.

Charles G. Darwin, "Douglas Rayner Hartree, 1897–1958", in: Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society 4/1958, 102–116, hier 105. Vgl. auch Forest Ray Moulton, New Methods in Exterior Ballistics, Chicago 1926.

wesentlich schneller zu berechnen waren und das so praktikable Prozeduren für die Luftabwehr ermöglichte, zumindest im Prinzip.²²

Im Oktober wurde London von elf Zeppelinen angegriffen, die über Frankreich nach England gefahren waren, ohne dass ein Schuss auf sie abgegeben wurde. Die öffentliche Empörung war verständlich, aber bei bewölktem Himmel in der Nacht nutzte die beste Mathematik nichts.²³ Die Notwendigkeit, die Wissenschaft für den Krieg zu mobilisieren, wurde aber umso deutlicher erkannt.

Der Erfolg der (wissenschaftlichen) Luftabwehr war offenbar begrenzt geblieben, doch lässt sich fragen, ob sich die hier investierte Arbeit nicht vielleicht in anderer Hinsicht gelohnt hat. Nach dem Krieg jedenfalls veröffentlichte Hartree zunächst zusammen mit Ralph Fowler und Leonard Bairstow vom National Physical Laboratory in den Proceedings der Royal Society eine wissenschaftliche Arbeit über die Physik der Granaten mit hoher Geschwindigkeit, und sie begründeten diese Publikation damit, dass "[t]he results appear to be not without general scientific interest, and are therefore presented in this paper by permission of the Ordonance Committee."²⁴ Einflussreicher sollte indes Hartrees Veröffentlichung Ballistic Calculations in Nature im selben Jahr werden, in der er seinen Fortschritt in den Berechnungsverfahren ballistischer Trajektorien mithilfe der adjungierten Differentialgleichung skizzierte. Aber zunächst nahm er sein Studium in Cambridge wieder auf und wurde Doktorand bei Fowler, mit dem er im Krieg eng zusammengearbeitet hatte.²⁵

Deutschland: Ballistik während des Krieges

Der Versuch, der französischen und britischen Entwicklung in gleicher Weise eine Geschichte ballistischer Kriegsforschung in Deutschland gegenüberzustellen, gestaltet sich zunächst schwierig. So sah Manfred Rasch im Jahre 2007 wenig Veranlassung, von seinem 16 Jahre zuvor publizierten Befund abzurücken, dass das Verhältnis von Wissenschaft und Militär weitgehend unerschlossen sei²⁶, doch wurden etwa zur gleichen Zeit wichtige neue Forschungsergebnisse vorgelegt.²⁷ Für

Douglas Hartree, "Ballistic Calculations", in: *Nature 106/1920*, 152ff. Ähnliche Fortschritte gab es um 1918 auch in den USA, wo sich Forest R. Moulton und auf dem 1918 eingerichteten *Aberdeen Proving Ground* Gilbert A. Bliss und Oswald Veblen mit Ballistik beschäftigten. Vgl. Siegmund-Schulze, "Military Work in Mathematics" (wie Anm. 3), 40, 64, und Moulton, New Methods (wie Anm. 21), 2, 134f.

Barrow-Green, "Planes and Pacifism" (wie Anm. 18).

Leonard Bairstow, Ralph Fowler, Douglas Hartree, "The Pressure Distribution on the Head of a Shell Noving at High Velocities", in: *Proceedings of the Royal Society of London A 97/1920*, 202–218.

Hartree, "Ballistic Calculations" (wie Anm. 22); Froese Fischer, *Hartree* (wie Anm. 19), Kap. 2. Manfred Rasch, "Science and the Military: The Kaiser Wilhelm Foundation for Military-Technical Science", in: Roy MacLeod, Jeffrey Allan Johnson (Hg.), *Frontline and Factory: Comparative Perspectives on the Chemical Industry at War, 1914–1924*, Dordrecht 2007, 179–202, hier 179; Ders., "Wissenschaft und Militär: Die Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft", in: *Militärgeschichtliche Mitteilungen 49/1991*, 73–120, hier 73.

Insbesondere im Zusammenhang mit dem Forschungsprogramm zur Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus, vgl. Helmut Maier, Forschung als Waffe. Rüstungsforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Metall-

den Ersten Weltkrieg stellt indes die Quellenlage nach wie vor ein großes Problem dar, was weniger mit dem Unterschied zwischen einer Gewinner- und Verlierergeschichtsschreibung zu tun hat – die etwa erklären könnte, warum deutsche Physiker kaum Berichte über ihre Kriegsforschung veröffentlichten²⁸ – als mit dem Verlust relevanter Repositorien wie beispielsweise des gesamten Potsdamer Heeresarchivs und der Akten der wichtigen Kaiser-Wilhelm-Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft.²⁹

Bekannt ist, dass im Vergleich mit den Alliierten die Mobilisierung und Institutionalisierung von Wissenschaftlern für den Krieg in Deutschland spät und unzureichend erfolgte. Hatten Briten innerhalb von Monaten die Mobilisierung der Wissenschaft geplant, was 1916 zur Gründung des *Department of Scientific and Industrial Research* führte³⁰, begann die durch die Kaiser-Wilhelm-Stiftung koordinierte Kriegsforschung nicht vor Frühjahr 1917. Finanzierte auf britischer Seite der Staat die Forschung, kam auf deutscher Seite das Geld aus einer privaten Stiftung, und während Franzosen oder Briten ihre ballistische Forschung an vorhandenen oder neu etablierten Orten konzentrierten, bestand das Institut der Kaiser-Wilhelm-Stiftung nur "in abstracto, ohne eigene Baulichkeiten, und verteilt seine Arbeiten an geeignete Fachmänner" (nach dem Muster des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik, das mehr oder weniger aus Albert Einsteins Arbeitszimmer bestand und Finanzierungsanträge genehmigte).³¹

Verantwortlich für den Bereich Ballistik waren Carl Cranz und der Münchner Physik-Ordinarius Arnold Sommerfeld.³² Während sich aus der 1917 erschienenen Neuauflage von Cranz' Ballistikbuch noch keine Kriegsinnovationen ablesen lassen, erlaubt der Briefwechsel Sommerfelds einige Einblicke in die deutsche ballistische

forschung 1900–1945/48, 2 Bde., Göttingen 2007. Vgl. auch die vielfältigen Ergebnisse des Tübinger Sonderforschungsbereichs 437 "Kriegserfahrungen. Krieg und Gesellschaft in der Neuzeit" über den Ersten Weltkrieg.

Schmidt (Hg.), Deutsche Naturwissenschaft (wie Anm. 4) ist kaum geeignet, über die deutschen Innovationen im Weltkrieg aufzuklären; so fasst etwa der Teil über Ballistik lediglich den Vorkriegsstand zusammen, während der zur Physik keine konkreten Anwendungen benennt. Allein im Teil zu Waffen wird etwa auf das im Frühjahr 1918 eingesetzte Kruppsche Ferngeschütz ("Paris-Geschütz") eingegangen, dessen Ballistik neue Effekte berücksichtigen musste, vgl. Cranz, Äussere Ballistik (wie Anm. 9), ⁵1925, 243–252.

Ein gutes Beispiel für die Produktion von Gewinnergeschichtsschreibung ist der Band von Bragg, Dowson, Hemming, Artillery Survey in the First World War (wie Anm. 1), der auf Betreiben der 1927 gegründeten Field Survey Association entstand, einer Veteranenorganisation der britischen Schallortungssoldaten, deren Präsident Lawrence Bragg von 1949 bis 1973 war. Zur deutschen Archivsituation vgl. Rasch, "Wissenschaft und Militär" (wie Anm. 26), 83.

Ian Varcoe, "Scientists, Government and Organized Research in Great Britain 1914–16. The Early History of the DSIR", in: *Minerva* 8/1970, 192–216.

Rasch, "Wissenschaft und Militär" (wie Anm. 26), 77ff.; Maier, Forschung als Waffe (wie Anm. 27), 138ff. Zum KWI für Physik vgl. Giuseppe Castagnetti, Hubert Goenner, "Einstein and the Kaiser Wilhelm Institute for Physics (1917–1922). Institutional Aims and Scientific Results" (MPI Preprint 261), Berlin 2004; das Zitat aus: Arnold Sommerfeld an David Hilbert, 13.3.1917, Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (SUB), Cod. Ms. D. Hilbert 379 A.

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Gottingen (SUB), Cod. Ms. D. Hilbert 3/9 A.

Zu den Kriegstätigkeiten der Sommerfeld-Schule vgl. Michael Eckert, *Die Atomphysiker. Eine Geschichte der Theoretischen Physik am Beispiel der Sommerfeldschule*, Braunschweig 1993, 62–70, und den Herausgeberkommentar in: Arnold Sommerfeld, *Wissenschaftlicher Briefwechsel*, *Bd. 1: 1892–1918*, hg. von Michael Eckert, Karl Märker, Berlin 2000, 445–455.

Forschung und ihre Motivation aus der Kriegserfahrung von Physikern an der Front: Weihnachten 1915 erreichte Sommerfeld ein Feldpostbrief seines Schülers Ernst Keller mit der Bitte um Empfehlungen für Ballistikbücher, von denen sich der junge Artillerist Hilfe erhoffte, denn: "Je länger der Stellungskrieg hier dauert, um so mathematischer wird der Krieg." Sommerfeld versuchte, Keller zu dem Mathematiker Karl Schwarzschild zu vermitteln, der sich als Direktor des Potsdamer Observatoriums an die Westfront gemeldet hatte und dort ballistische Untersuchungen durchführte.³³ Doch weder fand Keller Zeit, die Ballistikbücher von Cranz zu studieren, die ihm Sommerfeld geschickt hatte, noch wurde er bei Schwarzschild vorstellig. Stattdessen berichtete er im Laufe des Jahres 1916 mehrfach von seinen Einsätzen in den Vogesen und bei Verdun.³⁴ Sommerfelds Assistent Wilhelm Lenz übersandte Anfang 1916 seinem Lehrer nicht nur eine Ansichtskarte von der "Liller Explosion", sondern er erörterte auch eingehend die Druckwellen, das Geschosspfeifen und die Wirbelringe, die sich mit Hilfe aerodynamischer Theorien nach Hopf und von Karmán beschrieben ließen.³⁵

Um eine mathematische Lösung für den Stellungskrieg bemühten sich erst seit 1917 Cranz und Walther Nernst im Rahmen der Kaiser-Wilhelm-Stiftung, und mit der Aufnahme Sommerfelds in den Fachausschuss Physik der Stiftung im März versuchten sie ihn einzubeziehen, ohne allerdings eine besondere Dringlichkeit zu kommunizieren: "(...) wenn Sie einmal herkommen, könnten wir uns ja über den Flug der gezogenen Minenwerfergeschosse unterhalten". 36 Diese mangelnde Priorität des Militärischen äußerte sich besonders deutlich in den Briefen zwischen den Wissenschaftlern; hier war es fast die Regel und nicht die Ausnahme, dass das Kriegsengagement nur neben der eigentlichen wissenschaftlichen Arbeit erwähnt wurde. Als Sommerfeld im März 1917 an David Hilbert über seine Tätigkeit für die Kaiser-Wilhelm-Stiftung schrieb, ging er doch ausführlicher auf seine populären Vorlesungen über Atombau und Spektrallinien ein - die ihm soviel Spaß gemacht hätten, dass er im nächsten Semester populär über die Relativitätstheorie lesen wollte - als auf seine Unterstützung der Kriegsanstrengungen. Die Reise zu Göttinger Vorträgen über Gravitation, die im Juni 1917 stattfanden, wollte er "mit einer Berlin-Reise in Sachen der K.W.K.W. [Kaiser-Wilhelm-Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft] verbinden".37 Selbst der für sein Kriegsengagement legendäre Walther Nernst sollte, als er im Februar 1918 von Sommerfeld dessen Zusammenfassung der numerischen Rechnungen zu Göttinger Ballistikexperimenten anforderte, bei "dieser Gelegenheit (...) noch eine andere Frage berühren", die das Modell des Wasserstoffatoms des in Göttingen lehrenden Holländers Peter Debye, Messungen des Amerikaners Irving Langmuir und Berechnungen des Italieners Teofilo Isnardi zur Nullpunktsenergie beim Wasserstoffatom und beim Wasserstoffmolekül betrafen: "Jedenfalls handelt es

³³ Schwarzschild starb im Mai 1916 an einer Krankheit, die er sich im Krieg zugezogen hatte.

Ernst Keller an Arnold Sommerfeld, 26.12.1915, 2.3.1916, Deutsches Museum München, Archiv (DMA), NL 89/059. Vgl. auch Sommerfeld, *Briefwechsel* (wie Anm. 32), 518f. (ohne Reproduktion dieser Briefe).

Wilhelm Lenz an Arnold Sommerfeld, 28.1.1916, DMA München, NL 89/059.

Walther Nernst an Arnold Sommerfeld, 2.3.1917, DMA München, HS 1977–28/A, 241.

Arnold Sommerfeld an David Hilbert, 13.3.1917 (wie Anm. 31).

sich um eine ganz fundamentale Lücke unseres Wissens."³⁸ Waren die Wissenslücken zur Ballistik großer Abschusswinkel von geringerer Bedeutung?

Der Stellungskrieg hatte es nötig gemacht, durch so genannte Minenwerfer die Deckungen des Gegners zu zerstören, wobei die Geschosse nicht flach geschossen werden konnten, sondern möglichst von oben auftreffen sollten. Diese Steilfeuergeschütze mit kurzem Rohr wiesen aber meist keine hinreichende Treffergenauigkeit auf. ³⁹ Damit war das Fehlen von ballistischen Tafeln für große Abschusswinkel auch für die Deutschen zum militärischen Problem geworden. Inwieweit es gelöst wurde, bleibt unklar. ⁴⁰ Sommerfeld hat offenbar zu einem verwandten Problem gearbeitet, das mit den Auswirkungen der Rotation der "gezogenen Minenwerfergeschosse" zu tun hatte. Die zusammen mit Fritz Noether erarbeitete "analytische Berechnung der Geschützpendelungen" gewährte in Carl Cranz' rückblickendem Urteil zwar "einen hohen geistigen Genuß", während jedoch die konkreten Ergebnisse "nicht mehr für zutreffend angesehen [werden] können". ⁴¹

Die Erfindung der Schallortung im Krieg

War die Verbesserung der Ballistik ein traditionelles Problem, das weitgehend mit vorhandenen (mathematischen) Mitteln angegangen wurde, so erscheint die Erfindung und technische Realisierung der Schallortung als das Resultat modernster Wissenschaft mit modernsten technischen, aber auch organisatorischen Mitteln.⁴² Die

Walther Nernst an Arnold Sommerfeld, 14.2.1918, Staatsbibliothek zu Berlin Preußischer Kulturbesitz (SBPK), Autogr. I/284. Zur persönlichen Situation Nernsts, dessen beide Söhne durch Artillerieangriffe im Ersten Weltkrieg getötet wurden, vgl. Kurt Mendelssohn, Walther Nernst und seine Zeit. Aufstieg und Niedergang der deutschen Naturwissenschaften, Weinheim 1973, 120.

Zur Entwicklung der Minenwerfer und ihren Problemen vgl. Art. "Minenwerfer" in: Otto Lueger (Hg.), Lexikon der gesamten Technik, Bd. 10 (= Ergänzungsband II), Stuttgart, Leipzig 1920, 462.

- Schmidt (Hg.), Deutsche Naturwissenschaft (wie Anm. 4), 250f., erwähnt ein neues Schießverfahren mit "genauen, nach ballistischen Grundlagen aufgestellten Tabellen", wobei allerdings "jeder neue Schuß (...) mehr oder weniger Gefühlssache bleiben muß. Das Schießen mit Flieger-Abwehrkanonen scheint erfahrungsgemäß in der Tat ein angeborenes Talent zu erfordern, das weder durch Instrumente noch durch Tabellen ersetzt werden kann." Die Deutschen verfügten bereits vor dem Krieg über eine low tech-Lösung für die Luftziel-Ballistik. Die "L-Kanonen" der Krupp AG nutzten Geschosse mit einem Rauchsatz, der es erlaubte, die Geschossbahn als Rauchstreifen sichtbar zu machen, wodurch weitere Schüsse korrigiert werden konnten. Vgl. Art. "Geschütze zur Abwehr von Luftzielen" in: Otto Lueger (Hg.), Lexikon der gesamten Technik, Bd. 9 (= Ergänzungsband I), Stuttgart, Leipzig 1914, 485.
- Cranz, Lehrbuch der Ballistik (wie Anm. 9), ⁵1925, 358, zit. von Michael Eckert, in: Sommerfeld, Briefwechsel (wie Anm. 32), 451f.
- Zum guten Forschungsstand zur Schallortung außerhalb Deutschlands vgl. zu Großbritannien Roy MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front: Surveyors, Scientists, and the "Battlefield Laboratory", 1915–1918", in: War and Society 18/2000, 23–46; Albert P. Palazzo, "The British Army's Counter-Battery Staff Office and Control of the Enemy in World War I", in: Journal of Military History 63/1999, 55–74; Chasseaud, "Field Survey in the Salient" (wie Anm. 2); zu den USA Daniel J. Kevles, "Flash and Sound in the A[merican] E[xpeditory] F[orce]. The History of a Technical Service", in: Military Affairs 33/1969, 374–384; zu Frankreich Martina Schiavon,

exzellente Schallortungstechnologie der Engländer, die schließlich zu dem eingangs erwähnten Befehl geführt hatte, involvierte je Ortungsstation bis zu sechs spezielle Mikrophone für niedrige Frequenzen, die auf einer Strecke von acht Kilometern Länge verteilt aufgestellt und mit sechzig Kilometern speziellem isolierten Draht von besonders geringem elektrischen Widerstand mit einem sechssaitigen Galvanometer verbunden wurden. Dessen Ausschläge wiederum lenkten Lichtstrahlen durch Prismen ab, belichteten so Linien auf einen bewegten photographischen Film, der in wenigen Sekunden entwickelt werden konnte. Über eine Karte gespannte Darmsaiten gaben die Position des gegnerischen Geschützes innerhalb von etwa 100 Metern Genauigkeit an, so dass aus dem Vergleich mit Luftphotographien die getarnten Kanonenpositionen häufig exakt identifiziert werden konnten. 43 Beklagten sich die ehemaligen Mitglieder der Survey-Bataillone lange, dass sie für ihre wichtige Leistung im Ersten Weltkrieg nie die rechte Anerkennung erfahren hätten⁴⁴, sprechen mittlerweile populäre historische Darstellungen von der "virtual army of British physicists, engineers, and mathematicians", denen es gelang, etwa vor der Schlacht von Messines im Mai 1917 nicht weniger als 90 % der deutschen Batterien zu lokalisieren. 45 Doch begonnen hatte die Geschichte der Schallortung im Ersten Weltkrieg nicht in Großbritannien, sondern in Frankreich.

Frankreich: Nordmann

Die meisten Wissenschaftler zogen zunächst als normale Soldaten in den Krieg, und erst das desillusionierende Fronterlebnis brachte sie dazu, sich darüber Gedanken zu machen, wie sie mit ihren Fähigkeiten besser zum militärischen Erfolg beitragen könnten. Der erste, der sich für eine Schallortung gegnerischer Geschütze engagierte, war offensichtlich der französische Artillerist Charles Nordmann, von Hause aus Astronom des Pariser Observatoriums. In Eigeninitiative maß er mit präzisen Uhren Zeitdifferenzen, aus denen er auf den Ort der Geschütze zu schließen versuchte. Die rudimentären Versuche überzeugten seine Vorgesetzten, die ihn bereits im Oktober 1914 nach Paris schickten, um seine Ideen weiterzuentwickeln. An der Sorbonne suchte er nach einem Wissenschaftler, der schwache Geräusche niedriger Frequenzen aufzeichnen könnte, und wurde an Lucien Bull verwiesen, der im Institute Maray an der Aufzeichnung von Herztönen mittels Elektrokardiographie arbeitete. Bereits im November 1914 konnten sie französischen Generälen das Funktionieren ihrer

Itinéraires de la précision: géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments en France, 1870–1930, Diss. Paris 2003. Als detaillierte Quelle mit dem Vergleich von Großbritannien, Frankreich und Deutschland (aus britischer Sicht) siehe Report on Survey on Western Front, London 1920, in: http://www.defencesurveyors.org.uk/archives/world-war-1/survey-on-western-front/Report on survey on western front.pdf (30.7.2009).

- Kloot, "Lawrence Bragg's Role in the Development of Sound-ranging" (wie Anm. 1), 278ff.
- Bragg, Dowson, Hemming, Artillery Survey in the First World War (wie Anm. 1), 6.

Winston Groom, A Storm in Flanders. The Ypres Salient, 1914–18. Tragedy and Triumph of the Western Front, New York 2003, 165.

Hartcup, War of Invention (wie Anm. 1), 69f. Zu den deutschen Anfängen im Herbst 1914 vgl.
 Hans Joachim Froben, Aufklärende Artillerie. Geschichte der Beobachtungsabteilungen und selbständigen Beobachtungsbatterien bis 1945, München 1972, 24–27.

Methode demonstrieren, die drei Monate später an der Front eingesetzt werden sollte und konzeptionell dem später von den Briten vervollkommneten System entsprach, welche nach dem Krieg zugaben, dass "in many cases the French were ahead of us in ideas". Darüber hinaus ersannen französische Wissenschaftler noch eine Reihe weiterer Verfahren.⁴⁷

Großbritannien: Bragg und Tucker

In Großbritannien war die Offenheit der Militärs gegenüber wissenschaftlichen Vorschlägen weit geringer: Bragg beschrieb eine "almost impassable barrier between the military and the scientific minds", die dazu führte, dass die Briten nach Franzosen und Deutschen als letzte die Schallortung entwickelten. Im März 1915 wurde eine französische Apparatur nach Nordmann und Bull gekauft.⁴⁸ Die erste britische Schallortungsabteilung erreichte die Front im Oktober 1915, und bald wurde beschlossen, alle vier Armeen mit je zwei Abteilungen auszurüsten, obwohl die Technik - entgegen dem offiziellen Nachkriegsreport - noch lange nicht befriedigend arbeitete, aber man versuchte, sich dies einzureden.⁴⁹ Der Durchbruch gelang etwa ein Jahr später, als die aus der Kardiologie stammende Technik mit thermoelektrischen Effekten verbunden wurde. Das Tucker-Mikrophon diente als der gesuchte Detektor für niedrige Schallfrequenzen, der von störenden Geräuschen wie Gewehrfeuer nicht beeinträchtigt wurde. Er bestand aus einem durch Stromfluss erhitzten dünnen silberumhüllten Platindraht, der sich bei einer Luftbewegung abkühlte, was sich im veränderten elektrischen Widerstand zeigte. Diese Änderung konnte leicht aufgezeichnet werden. Zusammen mit einem geeigneten Hohlkörper, in dem sich ein Loch befand, konnte damit der Zeitpunkt eines durch Geschützdetonation verursachten Luftstroms durch die Öffnung präzise aufgezeichnet werden. Der Physiker William S. Tucker hatte diesen Effekt vor dem Krieg am Imperial College erforscht und komplettierte mit diesem Beitrag aus der Grundlagenforschung die Kriegsinnovation. Organisatorisch sollten die Briten indes nun ihre Fähigkeiten ausspielen: Eine Schallortungsschule wurde eingerichtet, und Bragg und seine Leute wiesen bis Kriegsende das Personal von insgesamt 34 Abteilungen mit über 1000 Soldaten in die Bedienung der neuen Hochtechnologie ein.⁵⁰

Erinnerungen Lucien Bulls, zit. in: Bragg, Dowson, Hemming, Artillery Survey in the First World War (wie Anm. 1), 33; das Zitat in: Report on Survey on Western Front (wie Anm. 42), 193. Zu den französischen Verfahren vgl. MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 35ff.

William Lawrence Bragg in: Bragg, Dowson, Hemming, Artillery Survey in the First World War (wie Anm. 1), 31.

Ebd., 35, im Gegensatz zu Report on Survey on Western Front (wie Anm. 42), 107.

MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 37ff.

Sonderweg Deutschland: Versagen oder Kontingenz? Annäherungen an die deutsche Schallortungsforschung

Wie im Falle der Ballistik können wir uns auch der deutschen Entwicklung der Schallortung quellenmäßig nur indirekt nähern. Neben den Briefen und Erinnerungen beteiligter Wissenschaftler – und bislang nur unzureichend lokalisierten und ausgewerteten Arbeitsunterlagen in Repositorien, aus denen sich ein konturenschärferes Bild rekonstruieren ließe⁵¹ – geben allenfalls die Militärberichte der Briten und Amerikaner und die auf ihnen basierenden historischen Arbeiten einen systematischen, wenn auch perspektivischen Einblick.⁵² Aus diesem Grund kann hier nur ein vorläufiger Versuch unternommen werden, aus der Gegenüberstellung mehrerer "schwacher" Quellen einige Thesen für das Verhältnis von Wissenschaft und Militär in Deutschland zu entwickeln.

Folgt man zunächst den Erinnerungen von Max Born, der als 32jähriger am Tage des Kriegsbeginns von Max Planck das Angebot erhalten hatte, einen physikalischen Lehrstuhl in Berlin zu übernehmen, wird vor allem der Zusammenhalt der Wissenschaftler und die kulturelle Differenz zwischen Wissenschaft und Militär deutlich. Binnen fünfzehn Monaten fand sich Born als Funker in der Uniform der Feldartillerie in Döberitz. Während sein Asthma einen Fronteinsatz verhinderte, befanden sich seine Kollegen Richard Courant aus Göttingen oder Rudolf Ladenburg aus Breslau von Anfang an im Kampf an der Front. Von hier ging der deutsche Impuls aus, Wissenschaft für den Krieg nutzbar zu machen und wissenschaftliche Lösungen für Probleme der Frontkämpfer zu finden: Nachdem Courant die Nutzung von Spiegeln als ebenso einfachem wie effektivem Hilfsmittel für den gefahrlosen Blick aus dem Schützengraben angeregt hatte, entwickelte er die Erdtelegraphie, um das häufig herrschende Nachrichtenchaos im Kampf zu vermeiden, und rekrutierte an der "Heimatfront" dafür einige ältere Göttinger Kollegen, die auf den Feldern vor den Toren der Stadt die Frontsituation simulierten und nun hier forschten und experimentierten. Nach einer schweren Verwundung wurde das wissenschaftlich-technische Engagement für Courant indes auch zur Strategie, den Krieg zu überleben.⁵³ Rudolf Ladenburg hingegen war die treibende Kraft dafür, dass eine besondere Wissenschaftlergruppe in der Artillerie-Prüfungs-Kommission eingerichtet wurde. Aus der Dienststelle für alle Methoden der "wissenschaftlichen Messung" ging das deutsche

Vgl. etwa das Material zu "Untersuchungen über die Ausbreitung von Schallstrahlen für das Schallmeßverfahren d[er] Artillerie-Prüfungs-Kommission Berlin 1914–1918", SBPK Berlin, NL Max Born 1268, oder die Akten des Preußischen Kultusministeriums zum Seminar für experimentelle Psychologie der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin, Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz Berlin, I. HA, Rep. 76 Va, Sekt. 2, Tit. X, Nr. 150.

Report on Survey on Western Front (wie Anm. 42), 194–197; Intelligence Reports über die deutsche Licht- und Schallmesstruppe 1917–1918, National Archives and Records Administration, College Park, MD, Record Group 120, vgl. MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 42.

Constance Reid, Courant in Göttingen and New York. The Story of an Improbable Mathematician, New York 1976, 54ff., 61. Zu weiteren Tätigkeiten vgl. "Interview of Richard Courant by Thomas S. Kuhn and Marc Kac on May 9, 1962", Niels Bohr Library and Archives, American Institute of Physics, College Park, MD, in: http://www.aip.org/history/ohilist/4562.html (30.7.2009), Transkript, 10.

Projekt zur Schallortung hervor.⁵⁴ Ladenburg forderte sogleich seinen Freund Born zur Mitarbeit in der Gruppe an, weitere Physiker folgten. Und was zunächst als militärisches Wissenschaftsprojekt begann, wurde später zur Rettungsaktion, um begabte Wissenschaftler dem Schicksal zu entreißen, als Kanonenfutter zu enden. Borns Frankfurter Assistent Alfred Landé und Ladenburgs Kollegen Fritz Reiche und Erich Waetzmann konnten angefordert werden; für Borns Studenten Herbert Herkner kam dies wenige Tage zu spät; er starb in jener Schlacht von Cambrai im November 1917, die für die Briten als Triumph der Schallortungskompanien gilt.⁵⁵

Die Wirkung der deutschen Schallortung war indes vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen und industriellen Möglichkeiten Deutschlands erstaunlich begrenzt, und die produzierten Instrumente muten fast archaisch an⁵⁶, was aus der angelsächsischen Perspektive als "strange failure" oder zumindest als "quixotic" also donquichotisch – erscheint. 57 Doch Born sah sich nie in einem aussichtslosen Kampf gegen Windmühlen, vielmehr berichtete er über die erfolgreiche Verfolgung eines wissenschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsprogramms für den Kriegseinsatz. Zunächst habe er Ladenburg bei der Ausarbeitung numerischer und graphischer Methoden des Schallmessverfahrens für den Fronteinsatz unterstützt, später berechnete er den Einfluss der höhenabhängigen Änderung der Windgeschwindigkeit auf die Ausbreitung des Schalls. Unter Annahme eines einfachen analytischen Gesetzes für die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe, sei es ihm gelungen, strenge Lösungen für die Bewegungsgleichung des Schalls zu gewinnen; Tabellen wurden berechnet und durch Experimente auf dem Schießplatz überprüft. Sie hätten sich als "recht exakt" erwiesen – alles in allem für Born ein "gutes Beispiel für angewandte Mathematik".58

Nach Roy MacLeod liegt der Grund für das deutsche Versagen sicherlich auch an einer zu späten Mobilisierung und an einem zu langen Festhalten an unzureichenden Theorien und Methoden. Stärker noch hätte sich aber die "German preference for the "subjective" system – based on a human observer" ausgewirkt, die es – wohl kulturgeschichtlich – zu erklären gelte. Hatte nicht der Geiger Fritz Kreisler bereits mit bloßen Ohren die Schussweite der russischen Geschütze an der Ostfront "erhören" können? Nach Borns Erinnerung entsprang hingegen die Rekrutierung (gestalt-) psychologischen Wissens für den Krieg in Person von Max Wertheimer und Erich

Max Born, Mein Leben. Die Erinnerungen des Nobelpreisträgers, München 1975, 238; Froben, Aufklärende Artillerie (wie Anm. 46), 22ff.

Max Born, "H. Herkner", in: *Naturwissenschaften 6/1918*, 179; Ders., *Mein Leben* (wie Anm. 54), 239f.; MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 40.

Vgl. die Abbildung eines Richtungshörers nach Hornbostel in: Froben, Aufklärende Artillerie (wie Anm. 46), 25, bzw. mit der dramatisierenden Beschreibung seines praktischen Einsatzes in: Martin Bochow, Schallmeβtrupp 51. Vom Krieg der Stoppuhren gegen Mörser und Haubitzen, Stuttgart ²1933, 18ff.

Peter Chasseaud, "The Strange Failure of German Sound-ranging in the First World War", in: *The Ranger* (Dez. 1999); MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 42.

⁵⁸ Born, *Mein Leben* (wie Anm. 54), 239.

MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 43.

Fritz Kreisler, Four Weeks in the Trenches. The War Story of a Violinist, Boston, New York 1915, 28f. Vgl. auch Julia Encke, Augenblicke der Gefahr. Der Krieg und die Sinne 1914–1934, München 2006.

von Hornbostel weniger einer spezifischen deutschen Wissenschaftskultur, die etwa einem "human factor" besonders huldigte⁶¹, denn einer kontingenten Entwicklung:

"Bald erwies es sich als notwendig, einige Psychologen für unsere Dienststelle zu gewinnen. Der Grund war folgender: Die richtige physikalische Methode zur Messung von kurzen Zeitintervallen wie sie bei den Schallmeßverfahren auftreten, ist die elektrische Aufzeichnung mit Hilfe eines Oszillographen. Aber die Firmen, die solche Geräte hätten liefern können, Siemens und Halske, AEG usw., hatten zuviel Arbeit und konnten keinen großen neuen Auftrag annehmen. Deshalb kauften wir in der Schweiz eine Anzahl exzellenter Stoppuhren, mit denen man ein fünfzigstel Sekunde messen konnte. Nun benötigten wir Psychologen, die in der Lage waren, Methoden zur Auswahl und Schulung von Spezialisten mit einer ziemlich konstanten Reaktionszeit auszuarbeiten. Dies grobe Verfahren funktionierte besser, als man erwarten sollte, obwohl die in den späteren Phasen des Krieges benutzten automatischen Instrumente der Briten eindeutig überlegen waren."

Aus diesen Schilderungen Max Borns lässt sich, bei aller Vorsicht, entnehmen, dass die Entscheidung für das "subjektive" Verfahren wohl nicht die erste Wahl der deutschen Wissenschaftler war. Die angedeutete Präferenz für ein elektronisches Verfahren mit Mikrophonen und Oszillographen für die Anzeige von Zeitdifferenzen hätte vielleicht bei gegebenen Ressourcen sogar größeres Potential entfalten können als die Registrierung mit Galvanometern und der Aufzeichnung auf Film. Auch sollte Born Max Wertheimer erst während der Zusammenarbeit als "tiefsinnigen Denker" kennenlernen und sich für seine Gestaltpsychologie begeistern. Daher spricht hier wenig für eine vorgezogene "Forman-These" über die kulturelle Adaption der Wissenschaft im Ersten Weltkrieg in Deutschland, derzufolge etwa mathematische und physikalische Theorien durch lebensphilosophische und psychologisierende Einflüsse und damit durch "subjektive" Verfahren beeinflusst worden wären. 63 Im Gegenteil scheint in umgekehrter Richtung der Kontakt der Psychologen mit der militärischen Schallmessforschung "zu unmittelbaren theoretischen Fortschritten innerhalb der Psychologie" geführt zu haben, die aus der "psychotechnischen Ausbeute der Kriegsjahre" einerseits arbeitspsychologische Methoden entwickelten und sie andererseits zur Durchsetzung eines gestalttheoretischen Paradigmas nutzten.64

Deutlich zu erkennen ist hingegen eine kulturelle Differenz zwischen Wissenschaft und Militär, die vielleicht als charakteristisch für Deutschland angesehen werden kann. Sie findet sich in dem bislang schwer zu entwirrenden Geflecht von Bedingungen für die Mobilisierung von Wissenschaft für den Krieg. Hierzu gehörte die Überzeugung des Generalstabs, dass "die militärische Verwertung der Technik im

MacLeod, "Sight and Sound on the Western Front" (wie Anm. 42), 43f.

Born, *Mein Leben* (wie Anm. 53), 242. Zur Nutzung von Oszillographen "in wenigen Exemplaren" an der deutschen Front Ende 1917 vgl. Froben, *Aufklärende Artillerie* (wie Anm. 46), 27, zum Rückgriff auf Stoppuhren vgl. Bochow, *Schallmeβtrupp 51* (wie Anm. 56).

Vgl. Helmuth Trischler, Cathryn Carson, Alexei Kojevnikov, "Beyond Weimar Culture – Die Bedeutung der Forman-These für eine Wissenschaftsgeschichte in kulturhistorischer Perspektive", in: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 31/2008, 305–310.

Vgl. ausführlich Christoph Hoffmann, "Wissenschaft und Militär. Das Berliner Psychologische Institut und der 1. Weltkrieg", in: Psychologie und Geschichte 5/1994, 261–285, hier 263, 277.

deutschen Heere im Vergleich zu allen anderen Heeren am weitesten fortgeschritten [war]" ebenso wie die "in der Truppe lebende Abneigung gegen das Eindringen des technischen Elements in den Bereich des bisher wesentlich durch moralische Kräfte bestimmten Kriegswesens". Viele Akademiker eigneten sich zunächst kaum als Soldaten – Born erzählt die Geschichte, dass sein Freund James Franck als Reserve-offizier einen Zug Soldaten führen sollte und versuchte, diese mit den Worten "Zug, rechts um, bitte!" zu kommandieren. Born wurde seinerseits bei den Döberitzer Funkern von einem Feldwebel ausgebildet, dessen Unterricht er "recht lustig" fand, da der Feldwebel "nur eben das wenige, das er uns weitergab, gelernt hatte, während ihm die Instrumente ein völliges Rätsel blieben". Der Hauptmann der Artillerie-Prüfungs-Kommission, dem Ladenburgs Gruppe unterstand, empfing Born wiederum "mit einer seltsamen Mischung von militärischer Autorität, die für den "Rekruten" gedacht war, und Ehrerbietung, die er dem Universitätsprofessor entgegenbrachte."

Insgesamt nimmt es nicht wunder, dass ein Forscher wie Max Born bisweilen dem Kriegsdienst nicht die höchste Priorität gab. Seine Forschung zur Atomphysik konnte er jedenfalls neben der militärischen Aufgabe weiterführen. Allerdings ist bei der Bewertung der Quellen Vorsicht angebracht, finden sich doch bei Born sowohl zahlreiche Aussagen, dass die militärischen Aufgaben ihn völlig beansprucht hätten⁶⁷, als auch konkrete Schilderungen, dass man bei sich bietender Gelegenheit, die Schreibtischschublade mit den Arbeiten zur Atomphysik geöffnet habe. ⁶⁸ Auch sah Born in Berlin Einstein häufiger, denn als wissenschaftlicher Kämpfer in der mitten in Berlin untergebrachten Prüfungskommission konnte er zu Hause wohnen und hatte zumindest zeitweise einen geregelten Arbeitstag von neun Uhr morgens bis vier Uhr am Nachmittag.

Die pauschale Frage, ob die Mobilisierung der Wissenschaft in Deutschland etwa geringer war als auf Seiten der Alliierten, differenziert sich nun dahingehend, zu

Der Weltkrieg 1914 bis 1918. Kriegsrüstung und Kriegswirtschaft, Bd. 1, bearbeitet im Reichsarchiv, Berlin 1930, 292, zit. nach Rasch, "Wissenschaft und Militär" (wie Anm. 26), 108.

⁶⁶ Born, Mein Leben (wie Anm. 54), 235, 238.

[&]quot;Ich bin sehr betrübt, daß ich bei all dem zusehen muß und keine Zeit habe, mich hinein zu vertiefen. Meine militärischen Aufgaben beanspruchen mich fast ganz.", Max Born an David Hilbert, 23.11.1915, SUB Göttingen, Cod. Ms. D. Hilbert 40 A/11; "Born ist gerade vom Unteroffizier zum (...) Hauptmannsrang befördert worden, nachdem er sich 1 1/2 Jahre in subalterner Stellung fürs Vaterland fast kaputt gearbeitet hat.", Alfred Landé an David Hilbert, 31.10.1916, ebd., 207/3; "Zum wissenschaftlichen Arbeiten bleibt mir absolut keine Zeit, obwohl ich eine Menge hoffnungsvoller Ansätze im Kopfe habe.", Max Born an David Hilbert, 22.2.1917, ebd., 40 A/14.

[&]quot;Die Hektik im [sic!] A.P.K. [Artillerie-Prüfungs-Kommission] begann sich zu legen, und wir hatten Stunden ohne ernsthafte Beschäftigung (...). Nach einiger Zeit begannen wir jedoch, wissenschaftliche Fragen zu diskutieren und sie sogar auszuarbeiten. Madelung saß damals mir gegenüber an einem großen Schreibtisch mit vielen Schubladen. Jeder von uns nahm aus einer Schublade alle militärischen Unterlagen heraus und füllte sie mit wissenschaftlichen Büchern und Notizen. Wir waren beide an Kristallen interessiert und begannen eine Art Zusammenarbeit.", Born, Mein Leben (wie Anm. 54), 252. Vgl. auch Richard Courant: "But he [Born] had a lot of time to do physics. I saw him.", "Interview of Richard Courant" (wie Anm. 53), 10. Unter den Publikationen von Max Born, Erwin Madelung, Alfred Landé und anderen finden sich eine Reihe von Veröffentlichungen, von denen bekannt ist, dass sie teilweise während der Tätigkeit in der Artillerie-Prüfungs-Kommission entstanden sind.

Born, *Mein Leben* (wie Anm. 54), 239.

untersuchen, ob deutsche Physiker zwischen den Prioritäten von Kriegs- und Grundlagenforschung anders abwogen als Briten oder Franzosen, die ihre Forschungsprojekte stehen und liegen ließen, um den Krieg zu gewinnen, und ob nicht hierin bereits ein Grund für den deutschen wissenschaftlichen Erfolg in der Nachkriegszeit gesehen werden könnte. Dass es in Deutschland keine "totale" Mobilisierung gegeben hat, zeigt beispielsweise die Stellungnahme Max von Laues im Zuge von Borns Berufung auf das Physik-Ordinariat der Universität Frankfurt vom Dezember 1918. Zu Borns wissenschaftlichen Fähigkeiten komme "ein großer Fleiß. Selbst in den letzten Jahren, da er als Oberingenieur bei der Artillerieprüfungskommission in Heeresdienst stand, konnte er eine Reihe bedeutender Arbeiten veröffentlichen."⁷⁰ Ein genauerer Vergleich, der zeigen würde, inwieweit Grundlagenforschung die Kriegszeit durchzogen hat, steht indes noch aus. Hierbei wäre auch die Kriegsverweigerung einzubeziehen, die sich auf allen Seiten fand und für die hier stellvertretend Albert Einstein, G. H. Hardy und Paul Langevin stehen können.⁷¹ Vielleicht unterschieden sich die wissenschaftlichen Ressourcenmobilisierungen weit weniger als die kulturellen und habituellen Prägungen. Max Born jedenfalls schrieb im April 1918 im Nachruf auf seinen bei Cambrai gefallenen Studenten Herkner:

"(...) als er Offizier wurde, vertiefte er sich in militärische Schriften und studierte Taktik mit der ihm eigenen Gründlichkeit. Die Zeiten der Ruhe aber gehörten seiner Wissenschaft; was er sann, wissen wir nicht, aber wir ahnen ein großes Ziel."⁷²

Konversion: Kriegsforschung und Grundlagenforschung nach 1918

Frankreich: Langevin

Die Kriegsforschung des Paul Langevin ist ein gutes Beispiel für die direkte Konversion von kriegsinduzierten Innovationen in Nachkriegstechnik wie in Grundlagenforschung. Zwar kam die Idee einer aktiven Ultraschallortung unter Wasser bereits nach der *Titanic*-Katastrophe auf, aber erst die immer geringeren Eigengeräusche deutscher U-Boote verlangten nach einer dringenden Verwirklichung des Konzeptes. Im Laufe der französischen Entwicklung wurden Phänomene aus der Grundlagenforschung ebenso mobilisiert wie Hightech-Elektronik. Langevin verwandelte die bislang technisch nicht genutzte Piezoelektrizität, die 1880 Jacques und Pierre Curie entdeckt hatten, in eine technische Innovation zur verbesserten Ultraschalldetektion unter Wasser. Nachdem im Frühjahr 1917 erste Erfolge zu verzeichnen gewesen waren, nutzte Langevin das Phänomen auch in umgekehrter Weise: Mit piezoelektrischen

Max von Laue an das Kuratorium der Universität Frankfurt, 10.12.1918, Universitätsarchiv Frankfurt am Main, Personalhauptakte Born.

Vgl. Giuseppe Castagnetti, Hubert Goenner, "Albert Einstein as Pacifist and Democrat During World War I", in: Science in Context 9/1996, 325–386; Benoit Lelong, Sébastien Soubiran, "Langevin, Brillouin et la marine de guerre. Une pratique en contradiction avec un discours pacifiste?", in: La Recherche, hors-serie Nr. 7/2002, 49ff.; Barrow-Green, "Planes and Pacifism" (wie Anm. 18).

⁷² Born, "H. Herkner" (wie Anm. 55), 180.

Quarzen ließen sich Ultraschallsender konstruieren. Die neue Technologie spielte zwar im Krieg keine größere Rolle mehr⁷³, Piezoelektrizität, Quarze und Verstärkerröhren sollten aber wissenschaftlich zu vielfältigen grundlegenden Forschungen Anlass geben.⁷⁴ Der Passagierdampfer *Île de France*, der seit 1927 zwischen Le Havre und New York verkehrte, wurde etwa mit seinem "sondeur ultra-sonore" nach Langevin beworben.⁷⁵

Großbritanniern: Hartree

Der wissenschaftliche Impetus durch die britischen Ballistiker auf Zeit war, folgt man June Barrow-Green, von großer Bedeutung. Forscher, die sich vor dem Krieg der reinen Mathematik verschrieben hatten wie Fowler und Milne, wandten sich danach anderen Gebieten zu, etwa der statistischen Mechanik oder der Astrophysik. Archibald Hill schrieb dazu später pointiert: "Kaiser Wilhelm and I, jointly, did good service to science in diverting both RH Fowler and EA Milne from pure mathematics to other fields."

Aber nicht nur Wissenschaftler wurden so durch den Krieg in andere Gebiete geführt, auch die wissenschaftlichen Inhalte und Methoden wanderten von einem Territorium zum anderen. Douglas Hartree wandte sich 1921, nachdem er einen Vortrag von Niels Bohr über dessen neue Atomtheorie gehört hatte, der Berechnung von Elektronenbahnen im Atom zu. Fowler bestärkte ihn darin, durch numerische Berechnungen bessere quantitative Voraussagen aus dem Modell abzuleiten. Was Hartree im Folgenden vorantrieb, war eine Adaption seines wissenschaftlichen Erfolgs aus Kriegszeiten, nur dass – vereinfacht formuliert – nicht Granaten auf gegnerische Stellungen oder Luftschiffe flogen, sondern Elektronen sich in Magnetfeldern bewegten oder den Atomkern umrundeten, und dass nicht Luftwiderstand und -dichte oder Wind die Bahn beeinflußten, sondern magnetische Kräfte oder Elektronen auf anderen Bahnen und dazugehörige Atomkerne.

Wissenschaftshistorisch interessant ist die Tatsache, dass man nicht in Hartrees Veröffentlichung zur Ballistik in der Zeitschrift *Nature* die genaueren Methoden seiner "Reform" nachlesen konnte – die fanden sich allenfalls in dem wenig später gedruckten, aber als geheim eingestuften *Textbook of Anti-Aircraft Gunnery* 77 –, sondern in einer Veröffentlichung über die magnetische Ablenkung von β -Strahlen, in der die Trajektorie eines Elektrons berechnet werden sollte, welche durch einen an einer festen Stelle installierten Schlitz führte. Hierbei waren die Abweichungen der Bahn von Ungleichmäßigkeiten des Feldes zu bestimmen, was im ballistischen Fall etwa den Dichteveränderungen der Luft entsprochen hätte. An dieser Stelle findet man nun die Beschreibung des Differentialgleichungssystems und seine Transformation, durch die es etwa möglich ist, "that the varied trajectory goes through the same

Hartcup, War of Invention (wie Anm. 1), 136–140, vgl. auch Anm. 6.

Vgl. Michael Eckert, Helmut Schubert, Kristalle, Elektronen, Transistoren. Von der Gelehrtenstube zur Industrieforschung, Reinbek 1986, Kap. 3.

Bensaude-Vincent, *Langevin* (wie Anm. 6), 92.

Barrow-Green, "Planes and Pacifism" (wie Anm. 18).

Archibald Hill (Hg.), Textbook of Anti-Aircraft Gunnery, 2 Bde., London 1924/25.

point of the slit as the normal trajectory [which] is easily made using the adjoint system", dass also unter variierten Bedingungen das gleiche Ziel getroffen wird. 78

Natürlich ist nicht in allen Fällen die Verbindung zwischen dem militärischen Einsatz von Geschossen im Krieg und dem Verhalten von Elementarteilchen im Mikroskopischen so eng. Dennoch prägten Hartree – vielleicht mehr als seine älteren Kollegen – die Problemstellungen und Lösungsmethoden der Kriegsballistik auch für seine Forschungen im Rahmen der Atomphysik in nicht unerheblichem Maße.

Ohne weiter ins Detail zu gehen, lässt sich bereits feststellen, dass Hartrees Methoden für die Berechnung von Elektronenbahnen im Atom eine ganze Reihe von Parallelen zur Kriegsballistik aufweisen. So beanspruchte Hartree in seiner Arbeit von 1923 nicht, exakte Lösungen angeben zu können, sondern "the calculated orbits will be only approximations to the real orbits, but the results are sufficiently good to be interesting". Es ging ihm nur darum, die von Lawrence Bragg ermittelten experimentellen Ergebnisse mit einer gewissen Genauigkeit rechnerisch zu reproduzieren, wobei die Durchführbarkeit der Rechenmethoden im Blick zu behalten war. Hartree war so in der Lage, durch die geschickte Wahl eines alternativen beschreibenden Parameters, nun die "effektive Kernladung" bezüglich des betrachteten Elektrons, das Berechnungsproblem wiederum in ein neues Gleichungssystem zu transformieren, das sich in diesem Fall allein mit einem 10-Zoll-Rechenschieber und einer Quadratzahltafel lösen ließ. Auf diese Weise suchte er beispielsweise Röntgenbeugungsbilder von Kochsalz, die Lawrence Bragg bestimmt hatte, aufgrund von Bohrs Atomtheorie zu erklären und so der Realität der Atome als kleiner Planetensysteme Glaubwürdigkeit zu verleihen.⁷⁹ Charakteristisch für alle Fortschritte in der Atomphysik, die wir mit Hartree verbinden, ist sein semi-empirischer Zugang, in den experimentelle Daten bereits bei der Konzeption der näherungsweisen Berechnungsmethoden eingehen und so einen experimentell-theoretischen Zirkel bilden, den Hartree später in seiner "selfconsistent field method" methodologisch emanzipieren sollte. Obwohl aus der Berechnung von mathematischen Faktoren der Röntgenstrahlstreuung auf der Grundlage des Bohrschen Orbitalmodells hervorgegangen, konnte Hartrees Methode dennoch auch nach der Aufstellung der Quantenmechanik weiterverwendet und weiterentwickelt werden. Für Bragg bedeutete Hartrees Sichtweise nicht weniger als sein Credo der Kristallstrukturanalyse: Die Struktur, die zu der besten Übereinstimmung mit den Messwerten führt, sollte auch als die beste Annäherung an die Wahrheit gelten dürfen.⁸⁰ In diesem Sinne boten für Bragg wohl auch die Atommodelle, die entsprechend der von Hartree berechneten Abmessungen der exzentrischen

Douglas Hartree, "On the Correction for Non-Uniformity of Field in Experiments on the Magnetic Deflection of β-rays", in: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 21/1923*, 746–752, hier 749.

Douglas Hartree, "On Some Approximate Numerical Applications of Bohr's Theory of Spectra", in: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 21/1923*, 625–641, hier 629, 632. Vgl. Buhm Soon Park, "Computational Imperatives in Quantum Chemistry", in: Christian Joas, Christoph Lehner, Jürgen Renn (Hg.), *HQ-1: Conference on the History of Quantum Physics (MPI-Preprint 350)*, Berlin 2008, 299–322, bes. 311ff.

William Lawrence Bragg, "The Interpretation of Intensity Measurements in X-ray Analysis of Crystal Structure", in: *The Philosophical Magazine* 50(6)/1925, 306–310; David Phillips, "William Lawrence Bragg", in: *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 25/1979, 97–143, hier 98.

Elektronenbahnen angefertigt und 1924/25 auf der *British Empire Exhibition* in Wembley ausgestellt wurden, die beste Darstellung der atomaren Realität.⁸¹ Heute kennen alle Physiker und Chemiker Douglas Hartree vor allem wegen seines (weiter-)entwickelten Näherungsverfahrens zur quantenmechanischen Berechnung von Elektronenverteilungen in Molekülen, zu dem dann John Slater und Vladimir Fock beitrugen.⁸² Die Grundidee des Verfahrens verdanken wir Hartrees Ideen aus dem Ersten Weltkrieg – oder, wenn man so will, Archibald Hill und Kaiser Wilhelm.

Resümee

Die Einsicht, dass die Vorstellungen von Elektronenbahnen im Atom nicht der Realität entsprechen, geht indes weitgehend auf deutsche Physiker zurück, von denen Max Born einer der wenigen ist, die der Kriegswissenschaftlergeneration angehörten, während andere wie Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli oder Pascual Jordan bereits den Schulen von Born oder Sommerfeld aus der unmittelbaren Nachkriegszeit entstammten. Gerade im besiegten und international isolierten Deutschland machte nun die Atomphysik mit der Quantenmechanik ihre größten Fortschritte⁸³, während eine sichtbare Übertragung von Kriegsinnovationen in die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung vergleichsweise gering ausfiel.⁸⁴

Die These, dass die Mobilisierung und Selbstmobilisierung deutscher Wissenschaftler im Krieg hinter der anderer Nationen zurückstand und sich diese deshalb weiter stärker mit ihrer Wissenschaft beschäftigten als ihre britischen und französischen Kollegen, statt den Krieg mit allen Kräften zu unterstützen, greift sicherlich zu kurz; dennoch sind Unterschiede deutlich geworden. Die Frage, in welcher Relation die Blüte der Physik – oder auch anderer Wissenschaften – in Deutschland nach dem Ersten Weltkrieg mit der institutionellen, habituellen und kulturellen Prägung durch das Kriegserlebnis steht, kann bislang kaum als beantwortet gelten.

Arne Schirrmacher, "Bohrsche Bahnen in Europa. Bilder und Modelle zur Vermittlung des modernen Atoms", in: Charlotte Bigg, Jochen Hennig (Hg.), Atombilder. Ikonografien des Atoms in Wissenschaft und Öffentlichkeit des 20. Jahrhunderts, Göttingen 2009, 73–82.

Paul A. Medwick, "Douglas Hartree and Early Computations in Quantum Mechanics", in: Annals of the History of Computing 10/1988, 105–111.

Vgl. etwa Helge Kragh, Quantum Generations. A History of Physics in the Twentieth Century, Princeton 1999, Kap. 10.

Vgl. aber, gegen diese These, den wichtigen "Einzelfall" Psychologie, dazu: Hoffmann, "Wissenschaft und Militär" (wie Anm. 64), 263.