

„Die Praxis der Forschung“ Zur Alltäglichkeit der Technikwissenschaften am Beispiel einer britischen Ingenieurfirma

Mikael Hård

Im Namen der Wissenschaft

In der Geschichte der britischen Verbrennungstechnologie und Motorenentwicklung gibt es einen Mann, der sich einen Sonderplatz als „der ‘Hohepriester’ des Verbrennungsmotors“ gesichert hat: Sir Harry R. RICARDO.¹ In Anerkennung seiner Bemühungen um ein besseres Verständnis der Verbrennungsprozesse und um die Entwicklung neuer Motoren wurde er nicht nur in den Adelsstand erhoben, sondern durfte sich auch „Fellow of the Royal Society“ (F.R.S.) nennen. Ein größerer Erfolg ist in der britischen Gesellschaft kaum denkbar und für einen Maschineningenieur ohnehin höchst ungewöhnlich.

Als Gründer und Direktor der Firma Ricardo Consulting Engineers schloß sich Sir Harry allerdings der britischen Tradition des unabhängigen beratenden Ingenieurs an, was aber kaum ausgereicht hätte, um diese öffentliche Anerkennung zu rechtfertigen.² Seine Erhebung in den Adelsstand läßt sich kaum nur mit dem Erfolg seiner Firma erklären, sondern ist eher in seinem wohl gepflegten Image zu suchen. Schon früh in seiner Karriere galt der im Jahre 1885 geborene RICARDO eher als Ingenieurwissenschaftler denn als Maschinenbauer. Er hatte in Cambridge studiert und dort als Assistent unter HOPKINSON, dem Professor der „mechanischen Wissenschaft“, gearbeitet.³ Selbst wenn RICARDO in seiner Autobiographie sein jugendliches Basteln an verschiedenen Fahrzeugkonstruktionen lebhaft herausstreicht, ist es doch deutlich, daß er seine reiferen Leistungen eher den systematischen Ingenieurwissenschaften zuordnet. Nachdem er während des Ersten Weltkrieges für die britische Armee einen zuverlässigen Panzermotor gebaut hatte und sich dadurch finanzielle Unterstützung für weitere Versuche sichern konnte, gelang es dem zweiunddreißigjährigen, Leiter eines „Labors“ an der englischen Südküste und einer „Werkstatt“ in London zu werden.⁴ Damit sei er, nach eigener Einschätzung, in der Lage gewesen, den Verbrennungsmaschinenbau in eine „neue Richtung“, weg von der altmodischen mechanischen, hin zu einer modernen wissenschaftlichen Tradition zu lenken:

„Vor dem Krieg war die Konstruktion von Motoren für Straßenwagen in der Hand von Fahrradherstellern, ausgezeichneten Mechanikern, die versiert in der Kunst des Schlossers, aber in den meisten Fällen entsetzlich ignorant gegenüber der Thermodynamik oder den vielen anderen Faktoren waren, von denen der Lauf ihrer Motoren abhing.“⁵

Der Anspruch RICARDOS, den Motorenbau wissenschaftlicher gestalten zu wollen, wurde schnell von seinen Zeitgenossen akzeptiert und gebilligt. Wenigstens in Großbritannien wurde behauptet, gerade seine „wissenschaftliche Forschungsarbeit“ (scientific research work) hätte ihm „weltweite Berühmtheit“ verliehen.⁶

Die Forschung und Entwicklung der Firma RICARDO hatte zwei Schwerpunkte. Auf der einen Seite wurde versucht, mit Hilfe von höherem Druck und veränderten Zylinderkopfformen die Verbrennung im Zylinder effektiver zu gestalten. Auf der anderen Seite wurden die Eigenschaften von Unmengen verschiedener Öle geprüft. Wenn wir auf Gerhard ZWECKBRONNERS Beschreibung der Technikwissenschaften zurückgreifen, besteht hier kein Zweifel, daß bedeutende Elemente der Tätigkeiten in RICARDOS Firma diesem Wissenschaftszweig zuzuordnen sind:

„So hat beispielsweise die technikwissenschaftliche Behandlung des Verbrennungsmotors die thermodynamischen Gesetze zu berücksichtigen, die Chemie der Kraftstoffe, die Strömungsmechanik der Gase, die Dynamik des Kurbeltriebs, die thermische und dynamische Belastbarkeit der Werkstoffe und – nicht zuletzt – die speziellen Probleme, die sich aus dem Zusammenwirken dieser verschiedenartigen Phänomenbereiche ergeben.“⁷

Vor diesem Hintergrund scheint es in der Tat möglich, RICARDOS Fall als einen Beitrag zur Geschichte der Technik- oder Ingenieurwissenschaften zu begreifen. Es bleibt aber noch zu klären, welche Folgen eine solche Darstellung für unser Verständnis dieser Wissenschaften hätte haben können.

Seit Anfang der 1970er Jahre haben mehr und mehr TechnikhistorikerInnen ihre Aufmerksamkeit den Technikwissenschaften zugewandt. Gleichzeitig – und kaum unabhängig davon – ist das Interesse für die Geschichte des Ingenieurstandes deutlich gestiegen. Der amerikanische Historiker Edwin T. LAYTON veröffentlichte damals zwei bahnbrechende Artikel, in denen er die institutionelle und intellektuelle Herausbildung der Ingenieurwissenschaften analysierte, darüber hinaus ein Buch, in dem er dem gesellschaftlichen Statuskampf der Ingenieurzunft nachging.⁸ In Deutschland schrieb anschließend die wissenschaftssoziologisch orientierte Starnberger Gruppe über Akademisierung und Verwissenschaftlichung von Technik, und der Philosoph Hans RUMPF veröffentlichte einige „Gedanken zur Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften“.⁹ Als eine Art Höhepunkt dieser Literatur erschien im Jahre 1990 nicht nur Walter VINCENTIS Buch über das Wissen und die Wissenschaft der Flugtechnik, sondern auch Gisela BUCHHEIMS und Rolf SONNEMANNs umfangreiche Geschichte der Technikwissenschaften.¹⁰

Über die Motive dieser Beschäftigung mit den Technik- und Ingenieurwissenschaften soll in diesem Zusammenhang nicht spekuliert werden. Es steht ohnehin fest, daß die genannten ForscherInnen sich von unterschiedlichen Erkenntnisinteressen steuern ließen. Drängten LAYTON und VINCENTI zur Legitimierung des

Ingenieurstandes, folgten die Starnberger eher einem wissenschaftskritischen Paradigma. Im Falle der Dresdner Schule – von Gisela BUCHHEIM und Rolf SONNEMANN angeführt – ging es darum, eine Lücke in der Wissenschaftsgeschichte zu schließen und dadurch den Technikwissenschaften einen Platz in der Geschichtsschreibung zu geben, der „ihrer gegenwärtigen Bedeutung“ entspreche.¹¹ Was allerdings die Amerikaner und die Dresdner verband, war die scharfe Kritik an der Idee, Technik und Ingenieurwissenschaften seien angewandte Naturwissenschaften.

Inhaltliche Konjunktoren, wie zum Beispiel das zunehmende Interesse der TechnikhistorikerInnen für die Technik- und Ingenieurwissenschaften in den letzten Jahrzehnten, sind in der Wissenschaft nichts Ungewöhnliches. Die Geschichtswissenschaft ist da keine Ausnahme. Die Behauptung, es gäbe eine unabhängige, objektive Geschichtsschreibung, wird heute wohl nur noch von einer Minderheit der HistorikerInnen vertreten. Die meisten haben kaum Schwierigkeiten, sich mit dem britischen Historiker E. H. CARR einig zu erklären:

„Wenn wir versuchen, die Frage zu beantworten, ‘Was ist Geschichte?’ reflektiert unsere Antwort, bewußt oder unbewußt, unsere eigenen Situation in der Zeit und bildet einen Teil der Antwort auf die umfassendere Frage, welche Sicht wir auf die Gesellschaft haben, in der wir leben.“¹²

Die Hinwendung der Technikgeschichte in Richtung auf eine Geschichte der Technikwissenschaften kann mit anderen Worten gut nachvollzogen werden. Das Problem dieser Perspektivveränderung hängt eher mit dem Wissenschaftsverständnis einiger HistorikerInnen zusammen. Mit direktem Hinweis auf den idealistischen Wissenschaftstheoretiker Alexandre KOYRÉ vertritt LAYTON die These, daß Studien zur Geschichte der Ingenieurwissenschaften die erkenntnistheoretischen Seiten der Technikentwicklung darlegen sollen.¹³ Folgerichtig sollte die Geschichte sich eher auf die „episteme“ als die „techne“ der Technikentwicklung konzentrieren, und damit eher auf gut ausgebildete Ingenieure als auf einfache Techniker. „Technik als Erkenntnis“, heißt das Schlagwort, das programmatisch „Zeichner, Mechaniker und Piloten“, um VINCENTI zu zitieren, ausklammert.¹⁴ Auch den Dresdnern ging es hauptsächlich darum, sich mit den „Träger[n] des technischen Wissens“ zu beschäftigen.¹⁵ Das Ergebnis: die Technik und die Technologie werden an erster Stelle als theoretische, abstrakte, mathematische und kognitive Tätigkeiten beschrieben. Sie werden in erster Linie als eine Wissensform und erst in zweiter Linie als eine Art Können verstanden.

Am Beispiel der Arbeit in der Firma Ricardo Consulting Engineers wird im Folgenden ein anderes Bild der Technikwissenschaften entworfen. Nachdem RICARDOS tiefe Einbettung in der „engineering sciences“ kurz vorgestellt wird, soll seiner praktischen technischen Arbeit – der „techne“, auf der seine wissenschaftliche Leistungen beruhten, nachgegangen werden. Ähnlich wie in der konstruktivistischen Erkenntnissoziologie und Wissenschaftsethnologie rückt hierbei die

Mikroebene in den Vordergrund. Dieser Artikel soll deswegen ein Versuch sein, den konstruktivistischen Ansatz – demzufolge wissenschaftliche Arbeit eine alltägliche, fast triviale und wenig heroische Aktivität ist – auf die Technikgeschichte anzuwenden.¹⁶

Auf der Bühne der Wissenschaft

Vorlesungen halten, Artikel schreiben und an öffentlichen Diskussionen teilnehmen sind normale Bestandteile der Arbeit einer jeden Wissenschaftlerin oder eines jeden Wissenschaftlers. Auch Sir Harry war diese Arbeit gewohnt. Am 11. Dezember 1934, um nur ein Beispiel zu nennen, hielt er einen Vortrag in der Abteilung für Werkzeugmaschinen und Schiffsbau des königlichen holländischen „Instituut van Ingenieurs“ in den Haag, wo er vor allem die mechanischen Probleme des Dieselmotorenbaues erörterte, aber auch zentrale Themen der Verbrennungstechnologie erwähnte.¹⁷ Für beide Gebiete stellte er die Notwendigkeit umfassender Forschungen fest, meinte aber gleichzeitig, die Natur der Untersuchungen dieser zwei Gebiete sei grundsätzlich unterschiedlich. Während man die Geheimnisse der Verbrennung mit Hilfe sorgfältiger und systematischer Laborarbeit aufdecken müsse, ließen sich die meisten mechanischen Probleme erst nach längerer Zeit und unter Mitwirkung verschiedener Experten lösen:

„Die Erforschung von Verbrennungsfragen ist stets eine fesselnde und nie endende Aufgabe. Ausgerüstet mit geeignetem Gerät und einer lebhaften Vorstellungskraft kann man viel erreichen. Dabei ist es eine verhältnismäßig einfache Forschungsarbeit, weil sie auf unmittelbaren Beobachtungen beruht, die an einer einzelnen Maschine gemacht werden und mit ziemlicher Gewißheit in die Praxis übertragen werden können.

Ganz anders liegt die Sache bei einigen der mechanischen Probleme, da diese meistens nicht in derselben genauen und akademischen Weise erfaßt werden können. ... In solchen Fällen ist das Laboratorium fast hilflos und der einzuschlagende Weg kann nur auf Grund ausgedehnter Erfahrung und scharfsinniger Überlegung gewiesen werden. Manchmal kann der Mathematiker uns helfen, wie im Falle von Schwierigkeiten durch Kurbelwellenschwingungen, manchmal kann der Metallurge helfen, z. B. wenn es sich um Zylinderlaufbuchsen handelt.“¹⁸

Aus dem Zitat geht hervor, daß RICARDO seine eigene Arbeit als stark technik- oder ingenieurwissenschaftlich verstand. Letzten Endes ging es zwar immer darum, durch die Konstruktion von effizienten und zuverlässigen Motoren die Gewinne der Firma zu maximieren, aber als unerläßliche Hilfsmittel wurden wissenschaftliche Kenntnisse und zielbewußte Forschungsaufgaben aufgenommen. Eine Vielfalt von Möglichkeiten stand hierbei zur Verfügung. Man konnte firmeninterne Laborversuche unternehmen, Versuchsreihen in enger Zusammenarbeit mit den Kunden organisieren oder externes „Know-how“ heranziehen.

RICARDOS technikwissenschaftlicher Habitus war in Cambridge ausgebildet worden.¹⁹ Unter HOPKINSON hatte er sich die grundlegenden experimentellen

Methoden der Verbrennungstechnologie angeeignet und richtungsbestimmende Impulse für seine zukünftige Forschung erhalten. Von HOPKINSON übernahm RICARDO den Gedanken, daß der Zylinderdruck erhöht werden könne und daß die Verbrennung effektiver verlaufen würde, wenn die in den Zylinder eingespritzte Luft wirbelartig in Bewegung gesetzt wird:

„Hopkinson hatte immer hohe Geschwindigkeiten im Blick und prophezeite, daß es bei ausreichender Turbulenz keine Grenze für die Geschwindigkeit gab, mit der ein Verbrennungsmotor laufen konnte, und zwar effizient laufen konnte.“²⁰

Schon als Student hatte sich RICARDO einerseits technikwissenschaftliche Forschungserfahrung angeeignet. Andererseits bahnten sich schon früh Gedanken an, die zwei Jahrzehnte später zur Entwicklung seiner berühmtesten Erfindung, des Wirbelkammer-Dieselmotors, führen sollten.

Wie sich RICARDO relativ früh in seiner Karriere die Aufgaben und Ausstattung einer zweckmäßigen Forschungseinrichtung vorstellte, geht aus einer Rede, die er im Jahre 1923 vor der Loughborougher Abteilung der „Institution of Automobile Engineers“ hielt, hervor.²¹ Mit Nachdruck argumentierte er dafür, daß man mit Hilfe „analytischer Prüfungen“ und spezialkonstruierter „Forschungsmotoren“ die angeblich unbefriedigende Lage des Motorenbaues verbessern sollte.²² Theoretische Kenntnisse, geometrische Methoden und ideale Experimentierverhältnisse waren in dieser Situation gefragt: „...die besten Maschinenkonstrukteure scheinen der theoretischen Seite der Frage wenig Aufmerksamkeit zu widmen.“²³ Statt mit kommerziellen Motoren sollte die Grundlagenforschung sich mit qualitativ hochwertigen Versuchsmotoren beschäftigen, die stabile Bedingungen anbieten könnten. Nur so sei es möglich, ein zuverlässiges Bild der verschiedenen mechanischen und thermodynamischen Faktoren zu bekommen, um dadurch entsprechende Verbesserungen erreichen zu können. Dies gelte nicht zuletzt für die komplizierte Feststellung der optimalen Form des Verbrennungsraumes, welche die systematische Variation einer Vielzahl von Parametern benötige. Diese Aufgabe stand jahrzehntelang im Zentrum der Arbeiten RICARDOS. In RICARDOS öffentlichen Darstellungen der technischen Arbeit seiner Firma benutzte er häufig Begriffe, die an die Wissenschaft erinnern sollten. Es war hier nicht nur von „Forschung“ und „Erforschung“ (research), sondern auch von „Labor“ (laboratory) und „Theorie“ (theory) die Rede.

Zwei von RICARDOS Mitarbeitern, J. F. ALCOCK und H. S. GLYDE, schrieben im Jahre 1930 für eine Ingenieurzeitschrift einen Artikel, worin sie auf die – so der Titel – „Praxis der Forschung“ in der Firma näher eingingen.²⁴ Hierbei unterschieden sie zwischen drei Kategorien der technischen Arbeit. Erstens die „Grundlagenforschung“ (fundamental research), die sich auf Probleme genereller Art konzentriert und wofür spezielle Instrumente entwickelt wurden. RICARDOS Darlegung von 1923 entsprechend, handelte es sich hier um Prüfstände, an denen der Verbrennungsprozeß in spezialkonstruierten Testmotoren durch Variation

der Parameter untersucht werden sollte. Zweitens ging es um die Prüfung von serienmäßig produzierten Motoren, eine Arbeit, die manchmal den Testserien bei normalen Motorenherstellern ähnelte, die aber auch am besonders ausgestatteten Prüfstand erfolgen konnte. Die Behandlung mechanischer Probleme gehörte dieser Kategorie an. Drittens ging es um systematische Untersuchungen verschiedener Öle, die im sogenannten Labor stattfanden und hauptsächlich von einer Ölfirma, der Asiatic Petroleum Co., finanziert wurden. An Prüfständen wurden die grundlegenden Untersuchungen des Verbrennungsprozesses in der Prüfwerkstatt durchgeführt. Mit einem Handgriff konnte hier der leitende Prüfingenieur oder sein Assistent unter anderem Zylinderdruck, Umdrehungen, Brennstoffzufuhr und Zündung variieren und mit einem Blick Temperatur, PS-Zahl, Geschwindigkeit und Druck ablesen. Die Möglichkeit, verschiedene Diagramme aufzuzeichnen, war ebenfalls vorhanden.

Hinter dem Vorhang der Technikwissenschaften

Geht es der konstruktivistischen Wissenschaftsforschung im Allgemeinen darum, die Ikone „Wissenschaft“ zu entzaubern und sie als soziales Ereignis darzulegen, möchte der laborfokussierte Zweig dieses interdisziplinären Feldes anhand ausführlicher Mikrostudien über die Alltäglichkeit der wissenschaftlichen Arbeit berichten. Seit der Veröffentlichung des von Bruno LATOUR und Steve WOOLGAR geschriebenen Buches „Laboratory Life“ versuchen mehrere EthnologInnen und SoziologInnen, die Wissenschaft in ihrer schlichten Alltäglichkeit zu zeigen.²⁵ In ihren Darstellungen zeigen ForscherInnen zum Teil ein chaotisches und anscheinend irrationales Verhalten. Als soziales Feld unterscheidet sich die Wissenschaft wenig von anderen Gefügen des menschlichen Zusammenlebens, wie etwa von dem wirtschaftlichen, dem politischen oder dem religiösen Leben. Die Wissenschaft ist kaum so heroisch, wie es das traditionelle Bild gerne vermitteln will.

Wissenschafts- und TechnikhistorikerInnen haben sich kaum vom mikroorientierten Ansatz inspirieren lassen. Ohne auf die näheren Gründe dieses schwachen Interesses einzugehen könnte man aber fragen, ob nicht die stark empiriebezogene Methode der Wissenschaftsethnologie auch als Brücke zur Historikerzunft dienen könnte.²⁶ Während für die meisten EthnologInnen das Beobachten und das Interviewen die wichtigsten empirischen Methoden sind, beschäftigen sich die auf das Rekonstruieren der Vergangenheit eingerichteten HistorikerInnen mit verschiedenen Quellen – traditionellerweise mit schriftlichen, aber zunehmend auch mit mündlichen.²⁷ Selbst wenn niemand mehr davon ausgeht, herausfinden zu können, „wie es eigentlich gewesen“ ist, bleiben die empirischen Daten für die Geschichtsschreibung genau so wichtig wie für die Ethnologie.

Es wird zunächst versucht, bezugnehmend auf Notizbücher und Briefe, den konstruktiven Alltag der Firma RICARDO zu beschreiben. Es soll gezeigt werden, auf welchen Aktivitäten Sir Harrys technikwissenschaftliche Tätigkeiten beruhten. Im Gegensatz zu LAYTONS und VINCENTIS Hervorhebung der Diplom-Ingenieure rücken hierbei die weniger ausgebildeten Ingenieure und Techniker beziehungsweise die einfacheren Mechaniker und Handwerker in den Vordergrund. Die beteiligten Ingenieure hatten nur ausnahmsweise eine vierjährige Ingenieurausbildung hinter sich. Viel häufiger handelte es sich um Ingenieure mit einer Art Zwischendiplom der Institution of Mechanical Engineers oder ähnlichem.²⁸

Das von mir ausgewählte Experiment begann am 29. Mai 1935 in einer der „test shops“ genannten Prüfwerkstätten. Hier muß es stark nach Schmieröl, Diesel und Benzin gerochen haben. Die Ingenieure und Prüftechniker haben über ihren Notizen gehockt, während die Assistenten mit Motorteilen und Werkzeugen durch die Werkstatt liefen. Gemäß HOPKINSONS und RICARDOS Forschungsprogramm sollte in diesem Experiment das Funktionieren eines mit verschiedenen Zylinderköpfen versehenen Motors bei unterschiedlichem Zylinderdruck getestet werden. Bevor die eigentlichen Prüfungen anfangen konnten, mußte die Maschine zuerst eingefahren werden, was sich aber als schwierig erwies: „Stoppte fast sofort, als der Anlasser glühend heiß wurde“, schrieb der Ingenieur in sein Notizbuch.²⁹ Am nächsten Tag bauten die Mechaniker aus der Maschinenwerkstatt einen neuen Startmotor ein. Bei dem erneuten Versuch blieb ziemlich schnell ein Zylinder stecken, der dann ebenso ersetzt werden mußte. Bald wurde herausgefunden, daß der eigentliche Fehler nicht am Zylinder lag, sondern an der ungeraden Nockenwelle: „Nockenstange geradegezogen und überdreht.“³⁰ Die Anfangsprobleme nahmen kein Ende, bis der Ingenieur die Geduld verlor und den Mechanikern anordnete, den ganzen Motor auseinander zu nehmen. Erst am 19. Juni funktionierte er. Nach zwölf Arbeitstagen konnte das Einfahren endlich beginnen, und ein paar Tage später konnten die ersten Indikatordiagramme aufgenommen werden.

Am 25. Juli 1935 wurde der Testmotor von Benzin- auf Dieselbetrieb umgebaut. Der Benzin-Zylinderkopf und der Vergaser wurden abgebaut und ein Dieselpkopf aufgesetzt. Dieser war vom Typ „Comet Mark II“, ein im Haus RICARDO konstruierter Kopf, mit der für die Konstruktionen HOPKINSONS und RICARDOS typischen Wirbelkammer versehen. Der Zweck der folgenden Versuchsserien sollte es sein, die für diesen Motor optimale Einspritzpumpe zu finden – eine im Prinzip ziemlich einfache Aufgabe, wobei die Pumpen nur ausgewechselt und verschiedene Meßwerte abgelesen werden sollten. Wie zwei Monate vorher, sollte die Maschine zuerst vorbereitet werden, was aber wieder einige Schwierigkeiten mit sich brachte.

Bei diesen Vorbereitungen spielte das Fingerspitzengefühl des Ingenieurs eine besonders große Rolle. Der Motor sollte stabil sein und problemlos laufen. Gelingt es nicht, dann mußte der Ingenieur oft seine ganz individuelle Erfahrung einbringen, um die Probleme beseitigen zu können. ALCOCK und GLYDE beschrieben den Prozeß aus ihrer Sicht: „Im Allgemeinen muss jedes Problem gesondert behandelt werden und feste, anwendungsbereite Regeln können nicht festgelegt werden.“³¹ Selbst wenn sich die eigentlichen Versuchsreihen durch traditionell wissenschaftliche, intersubjektive Merkmale – etwa systematische Parametervariation und graphische Darstellung – auszeichneten, war beim Aufbau der Untersuchungsgeräte persönliches Können, eine Art „tacit knowledge“, gefragt.³²

Im Vergleich zum Einfahren Ende Mai erging es dem betrachteten Prüflingenieur dieses Mal besser: „Der Verbrennungsprozess verläuft bei allen Belastungen und Geschwindigkeiten relativ leise, aber der Lufteintritt ist momentan laut.“³³ Das Kaltstarten war am Anfang zwar schwierig, konnte aber durch Druckerhöhung des eingespritzten Treibstoffes erleichtert werden. Die geplante Versuchsreihe kam nun relativ rasch voran und konnte schon nach einer Woche erfolgreich abgeschlossen werden.

Im nächsten Schritt wurde der „Comet Mark II“-Zylinderkopf durch RICARDOS neuen „Whirlpool Mark II“ ersetzt. Es galt immer noch, die passende Einspritzpumpe herauszufinden. Schon am ersten Tag konnte der Ingenieur glücklich feststellen, daß der Whirlpool besser funktionierte als sein Vorgänger. Nicht nur war seine Leistung „besser als der Comet MK II unter den gleichen Bedingungen“, sondern alle seine Bewegungen waren ruhig bei allen Belastungen und fehlerfrei.³⁴

Ein auffälliges Merkmal der Notizbücher ist der qualitative, relativ unpräzise Charakter der Beobachtungen und Überlegungen. Typische Adjektive, die benutzt wurden, um das Verhalten des Motors zu beschreiben, waren „weich“, „besser“, „stabil“, „ziemlich warm“, „OK“ und „sauber“. Mit einer interessanten Mischung von qualitativen und quantitativen Urteilen beschrieb der betrachtete Prüflingenieur die Verhältnisse zwischen erzeugter Leistung und dem Zeitpunkt der Brennstoffeinspritzung:

„etwas unruhig bei 45°E, und Auspuffgase SV/VSD, unter 41°E Auspuffgase sauber. Spitze der Vollastlinie etwa bei 36°E.“³⁵

Dabei bedeutete „SV“ „kaum sichtbar“ (slightly visible) und „VSD“ „sichtbar, etwas dunkel“ (visible, slightly dark). Und so ging es auch bei der Untersuchung des Verhältnisses zwischen erzeugter Leistung und Zylinderdruck weiter:

„Auspuffgase sind sauber bis etwa 16,5 atü, darunter werden sie allmählich schmutzig, wenn MD/D bei 14,85 atü. Auspuffgase hatten die Besonderheit, abwechselnd sauber und schmutzig zu sein.“³⁶

Genauere Untersuchungen der Zusammensetzung der Abgase waren damals noch nicht relevant. Man war mit subjektiven, relativ groben Urteilen zufrieden. Die Versuche am Dieselmotor schienen gut zu laufen. Beim Zerlegen des Motors wurden einige Reibungs- und Belastungsschäden gefunden. Selbst wenn sie nicht katastrophal waren, mußten die Mechaniker und Schmiede doch einige Teile erneuern und auswechseln. Diese Arbeiten, welche die schmutzigen, handwerksmäßigen und sehr konkreten Aspekte der technischen Forschung und Entwicklung deutlich widerspiegeln, wurden vom Prüflingenieur sorgfältig aufgezeichnet:

„Neues Pleuellager aus Weißmetall montiert. Neues Lager paßt an die Spitze der vertikalen Welle an Stelle des ausgewechselten. Das neue ist aus Weißmetall auf Bronze. Ein neues Lager aus Weißmetallbronze wurde an das Vorderende der Kurbelwelle montiert, und das wird nun über Druck geführt von der Kurbelwelle, die gebohrt wurde. Um die Öltemperaturen abzunehmen, wurde ein Thermometer in das Kurbelgehäuse (in die Ölwanne) montiert.“³⁷

Man kann sich mit etwas Phantasie vorstellen, wie die Männer fluchen; man kann das Öl riechen und den Lärm in den Werkstätten hören. So wie die naturwissenschaftliche Praxis – wie sie unter anderem im Falle der Hochenergiephysik von der Ethnologin Sharon TRAWEEK beschrieben wird, ist die technikkundliche Praxis von einfachen, allgemeinen und routinemäßigen Aufgaben durchwoben.³⁸ Wie der Soziologe Michael LYNCH sich in seiner Studie über die biochemische Forschung ausdrückt, geht es meistens darum, die Experimentierausrüstung in Gang zu bekommen, und die Untersuchungen unter Kontrolle zu halten: „to make it work.“³⁹

Nachdem die oben beschriebenen Maßnahmen durchgeführt und einige eingeklemmte Ventile von einem Mechaniker repariert worden waren, blieb noch ein weiteres Problem zu lösen. Im Laufe der letzten Versuchsreihe hatte der Ingenieur vermerkt, daß der Brennstoffverbrauch des aktuellen Motors ungewöhnlich niedrig war. Statt diese Beobachtung als ein erfreuliches Ergebnis zu betrachten, baute er den Ölzähler auseinander, um herauszufinden, ob er überhaupt richtig funktionierte. Bald stellte sich heraus, daß der Brennstoffzähler so unzuverlässig arbeitete, daß alle früheren Dieselvesuche mit diesem Motor in Frage gestellt werden mußten. Zwei Wochen Arbeit waren umsonst! Es ist tatsächlich nicht leicht, Experimentiergeräte „zum Arbeiten zu bringen“.

Am 12. September 1935 war es endlich so weit. Der Zähler funktionierte wieder, und der Ingenieur konnte die wichtigsten Versuche noch einmal durchführen. Wie schon früher erwähnt, handelte es sich darum, die für diesen Motor geeignetste Einspritzpumpe zu finden – eine Aufgabe, die dank früherer Untersuchungen auf den Vergleich von vier Pumpen begrenzt werden konnte. Alle vier Pumpen waren von der Firma Bosch hergestellt worden, jener Firma, die sich zu diesem Zeitpunkt eine monopolähnliche Position in der Produktion von Brennstoffeinspritzpumpen für Dieselmotoren erkämpft hatte.

Die erste Pumpe, die untersucht wurde, hatte die Typennummer DN12SD12. Gemessen wurden der Ölverbrauch und die maximale Leistung bei verschiedenen Umdrehungen, danach wurden die Typen DN15S2, DN30S2 und DN15S3 näher untersucht. Weil die dritte Pumpe keinen hohen Zylinderdruck bei höherem Effekt zuließ, wurde sie umgehend zur Seite gelegt: „Es wurde entschieden, mit dieser Düse nicht weiterzumachen.“⁴⁰ Die zweite und die vierte Pumpe lieferten bessere Ergebnisse. Die eine verhielt sich aber nicht ganz stabil, und mit der anderen war es nicht möglich, die ganz hohen Leistungen zu erhalten. Sehr zufrieden konnte der Ingenieur den Schluß ziehen, daß die erste Einspritzpumpe die besten Daten aufwies. Zwischen den trocken geschriebenen Zeilen im Notizbuch läßt sich ein gewisser Stolz verspüren: „Diese Daten stimmen außerdem mit früheren Ergebnissen überein.“⁴¹

Die Wissenschaft auf der Straße

Die Forschungspraxis der Firma RICARDO war nicht auf die Werkstätten und Labors in Shoreham-by-Sea begrenzt, sondern fand auch auf der Straße und im Kundenkreis statt. Selbst wenn hier zum Teil andere Fragen – etwa das Verhalten der Motoren bei alltäglichem Gebrauch – in den Vordergrund rückten, waren die Untersuchungsmethoden nicht so sehr unterschiedlich. Es ging auch hier darum, die Auswirkungen verschiedener Einspritzpumpen, Zylinderköpfe und Öle auf die Verbrennung zu testen und Zylinder, Triebwerk und Dichtungen mechanisch zu prüfen. Selbstverständlich waren sorgfältige Dokumentationen genau so wichtig außerhalb wie innerhalb der eigentlichen Werkstatt. Ähnlich wie in Bruno LATOURS Beschreibung der experimentellen Tätigkeiten des Chemikers Louis PASTEUR waren die genauen Grenzen zwischen Labor und Umfeld immer unklar.⁴² Motoren waren in keinem Fall endgültig erprobt, wenn sie den Weg zu den Kunden fanden. Ergebnisse, die auf der Straße erzielt wurden, konnten direkte Auswirkung auf die Versuchsreihen in Shoreham haben.

Einer von RICARDOS größten und wichtigsten Kunden war die britische Firma A.E.C. (Associated Equipment Company), die Ricardomotoren für die Busse der öffentlichen Verkehrsbehörde in London (London Transport) herstellte. Verhältnismäßig früh hatte die A.E.C. sich entschieden, den Schritt zum schnelllaufenden Diesel zu wagen und dazu eine Zusammenarbeit mit RICARDO zu beginnen. Für RICARDO war diese Beziehung wichtig, nicht nur weil sie seiner Firma Lizenzgebühren einbrachte, sondern auch weil sie ihm die Möglichkeit bot, seine Konstruktionen unter realen Nutzungsbedingungen auszuprobieren. Hierdurch konnte herausgefunden werden, wie die theoretisch ausgerechneten und experimentell ausprobierten Lösungen sich in der Fahrpraxis bewährten.

Durch die Erweiterung des Labors wurden andere Entwicklungsteams und neue Berufsgruppen in die Forschungs- und Entwicklungsarbeit einbezogen.

Zwischen den Ingenieuren und Technikern in Shoreham und ihren A.E.C. Kollegen in Southall, in der Nähe von London, wurden Informationen kontinuierlich ausgetauscht, Motorenteile hin- und hergeschickt. DICKSEE, der führende Ingenieur bei A.E.C., war ein vertrauter Gast bei RICARDO. Nicht weniger nützlich waren in diesem Zusammenhang die Erfahrungen der Busfahrer und der Mechaniker der Firma London Transport. Die Fahrer teilten mit, inwieweit neue und modifizierte Motoren den Anforderungen des täglichen Gebrauchs entsprachen, und von den Mechanikern in der Garage kamen Rückmeldungen über mechanische Probleme und andere Schwachstellen.

Um diesen nutzungsorientierten Teil der technikwissenschaftlichen Praxis zu illustrieren, möchte ich ein Beispiel aus dem Jahre 1937 beschreiben. Im Zentrum dieser Geschichte steht ein Motor des Modells „Comet Mark III*“, eine Weiterentwicklung des „Comet Mark III“-Standardmodells. Im Vergleich zum oben erwähnten Typ „Comet Mark II“ haben wir es hier mit Zylinderköpfen zu tun, deren Form eine effektivere Mischung von Luft und Brennstoff ermöglichen sollte. So lautete die theoretische Behauptung, die sich bei Laborversuchen bestätigt hatte, und die jetzt unter härteren Bedingungen geprüft werden sollte.

Am 8. Juni 1937, nach fast einem halben Jahr schwerer Arbeit am Prüfstand in Shoreham, war der verantwortliche Ingenieur so zufrieden, daß er den Schluß zu ziehen wagte, „daß der Motor in einem guten Zustand war, um für Straßentests zum Hersteller zurückgeschickt zu werden.“⁴³ Diese Entscheidung war überfällig. Der Kunde, A.E.C., wollte den neuen „Comet Mark III*“-Motor schon innerhalb von drei Monaten in zwölf seiner Busse eingebaut haben. Mit Sicherheit war das ein sehr knapper Zeitraum, wenn man bedenkt, daß es die gängige Auffassung der Ingenieure und Techniker war, ein neuer Motor brauche einen Monat, um ruhig und zuverlässig zu laufen.⁴⁴

Die Testreihen, die am Prüfstand durchgeführt wurden, waren selbstverständlich auch hart und langwierig. Die Ingenieure ließen den Motor oft tagelang laufen, vor allem um die mechanische und chemische Belastbarkeit der Motorenteile zu überprüfen. Wie beim Fahren auf der Straße wurden hierbei Drehzahl und Last verändert, aber nicht unbedingt auf die den wirklichen Nutzungsbedingungen entsprechende Art und Weise. Einen im Kraftfahrzeug eingebauten Motor zu fahren war etwas anderes, als einen Testmotor in der Werkstatt laufen zu lassen.

Da DICKSEE und seine Kollegen sich nicht trauten, Passagiere sofort in das Experiment einzubeziehen, wurde der neue „Comet Mark III*“ erst in einen Probebus eingebaut und eine Versuchsreihe unter Mitwirkung eines von RICARDOS besten Ingenieuren, C. W. R. SMITH, eingeleitet. Statt den Schritt zum richtigen, alltäglichen Einsatz zu wagen, versuchten sie so gut wie möglich „die normalen Betriebsbedingungen zu simulieren“.⁴⁵ Im ersten Versuch wurde dazu eine 10,2 Meilen lange Testrunde in der schönen Umgebung von Wembley organisiert. Um normale Betriebsverhältnisse zu imitieren, wurde dem Fahrer ange-

ordnet, während der Fahrt 37 mal zu halten und 15 Sekunden stehen zu bleiben. Dabei sollte er versuchen, an seinem normalen Fahrverhalten festzuhalten:

„Der Versuchswagen wurde in der gleichen Weise gefahren, wie es Londoner Busfahrer taten, d. h. Beschleunigung bei Abfahrt von den Haltestellen im zweiten Gang, Wechsel in den höchsten Gang so schnell wie möglich und dann Beibehaltung dieses Ganges bis zur nächsten Haltestelle.“⁴⁶

Mit diesem Zitat wird deutlich, wie wichtig es war, die Nutzer mit allen ihren Eigenheiten in die Versuche mit einzubeziehen.⁴⁷ Ebenso wichtig war es, auf die äußerlichen Faktoren zu achten. Das Fahren durch Londons City in der Hauptverkehrszeit wurde zwar nicht durchgeführt, aber dafür wurde der Versuch unternommen, einen besonders steilen Hügel außerhalb Londons hochzufahren. Der Erfolg dieser Aktion hing allerdings nicht nur vom Motor, sondern auch von der Fähigkeit des Fahrers ab:

„Es wurden Versuche gemacht, den Harrow Hill hinaufzufahren, der zugegebenermaßen an einigen Stellen ziemlich steil ist. Eine gute Steigungsfahrt hängt von vielen Faktoren ab, wie zum Beispiel einer ungehinderten Anfahrt, freier Strecke, weil die Straße eng ist, und schließlich dem Geschick des Fahrers im glücklichen Umgang mit diesem speziellen Getriebe.“⁴⁸

Der Fahrer mußte also ein bißchen Glück haben, aber entscheidend war seine persönliche Erfahrung. Ein guter Testfahrer zeichnete sich nicht nur durch gutes Verkehrsverhalten und zuverlässigen Umgang mit dem Wagen aus. Er mußte die Technik so weit kennen, daß er Probleme umgehend registrieren und diagnostizieren, eventuell auch einfache Reparaturen auf der Straße durchführen konnte. In der Tat waren die Ingenieure von guten Fahrern so abhängig, daß sie unruhig wurden, wenn unerfahrene Leute am Steuerrad saßen. In seinem Report über die ersten Probefahrten mit dem „Comet Mark III*“-Motor bemerkte SMITH etwas irritiert, daß London Transport einen neuen Mann eingesetzt hatte: „Die Ergebnisse hängen von einem einzigen Mann ab.“⁴⁹

Der letzte Satz war wohl etwas übertrieben. Da dieser Versuch für RICARDO von großer Bedeutung war, hatte sich SMITH nämlich dazu entschlossen, im Probebus mitzufahren. Im Gegensatz zu DICKSEE und den anderen A.E.C. Leuten, aber in Übereinstimmung mit den Versuchen am Prüfstand in Shoreham, kam SMITH dabei zu dem Ergebnis, daß der „Comet Mark III*“-Motor effektiver arbeitete als die Standardversion. SMITH meinte feststellen zu können, daß der Brennstoffverbrauch beim „Comet Mark III*“ um 5% geringer ausfiel und daß der Probebus den steilen Harrow Hill schneller hochfuhr. Während der Fahrt konnte er beobachten, daß die Abgase nur im zweiten Gang leicht sichtbar waren, und in der Garage bekam er bestätigt, daß der „Star“-Motor „viel leiser“, sei im Vergleich zum Standardmodell.⁵⁰

Zu dieser Zeit waren der hohe Lärmpegel und die dunklen stinkenden Abgase die größten Probleme für die öffentliche Akzeptanz der Dieselbusse und Diesel-Lkw. London Transport legte auf eine Reduzierung dieser Faktoren großen Wert. Die Wirtschaftlichkeit des Diesels spielte für RACKHAMS Begeisterung bestimmt eine zentrale Rolle, aber er konnte es sich nicht leisten, in Motoren zu investieren, die weder Fahrer noch Reisende annehmen würden. SMITHS Bilanz, von Fahrern und Mechanikern unterstützt, war deswegen für RACKHAMS endgültige Entscheidung, zwölf „Comet Mark III“-Motoren zu kaufen, von ausschlaggebender Bedeutung. Nicht RICARDOS wissenschaftlicher Ruf oder die Versuchsreihen am Prüfstand, sondern die Überlegungen in der Garage und auf der Straße trugen dabei das größte Gewicht.

Technikwissenschaftliche Arbeit als individuelles Können und kollektive Routine

Kommen wir am Schluß zu ZWECKBRONNERS Beispiel der Thermodynamik des Verbrennungsmotors zurück, so läßt sich feststellen, daß die Arbeit bei der Firma Ricardo tatsächlich die meisten Komponenten dieses Fachgebietes umfaßte. Die Ingenieure stützen sich bei ihren Berechnungen auf thermodynamische Gesetze. Beim Konstruieren neuer Zylinderköpfe berücksichtigte RICARDO das Strömungsverhalten der eingespritzten Luft und des Kraftstoffes. Wenn die jungen Techniker im Labor mit Hunderten von Ölen experimentierten, ging es unter anderem darum, ihr chemisches und thermisches Verhalten zu untersuchen, und wenn der Ingenieur am Prüfstand versuchte, seinen Motor einlaufen zu lassen, mußte er mit der Dynamik des Kurbeltriebs kämpfen. Die Geschichten, die weiter oben erzählt wurden, haben eines gemeinsam: die harte Arbeit, die alle Beteiligten leisteten, um – mit ZWECKBRONNERS Worten – das „Zusammenwirken dieser verschiedenartigen Phänomenbereiche“ zu verstehen und zu unterstützen. Am Prüfstand konnte man zwar die Anzahl von Variablen für verschiedene Zwecke minimieren, aber in der Garage und auf der Straße – und letzten Endes auch im Konstruktionsbüro – mußten alle Faktoren zusammengeführt und berücksichtigt werden.

Die Komplexität dieser Arbeit verlangte erfahrene und urteilsfähige Mitarbeiter. RICARDO beschrieb den idealen „Ingenieur in Forschung und Entwicklung“ (applied research worker) mit den Worten:

„Um erfolgreich zu sein, muß der Ingenieur in Forschung und Entwicklung außerdem ein gutes Vorstellungsvermögen haben, aber auch Erfahrung, ein sicheres Beurteilungsvermögen und gesunder Menschenverstand sind wichtiger für ihn als wissenschaftliches Ansehen.“⁵¹

Dieses individuelle Können war oft von ausschlaggebender Bedeutung, was aber nicht heißt, daß wir es hier unbedingt mit idiosynkratischen Eigenschaften zu tun haben. Aus den Notizbüchern ist im Gegenteil zu entnehmen, wie

Versuchsreihen von einem Ingenieur angefangen und von einem anderen übernommen werden konnten. Ähnlich wie im Falle von Großprojekten der modernen Naturwissenschaften – etwa der Hochenergiephysik, die TRAWEEK beschrieben hat, werden hier individuelle Erfahrung und verkörpertes Können mit intersubjektivem Wissen und kollektiven Routinen kombiniert. Und, ebenso wie in der Geschichte und Soziologie der Naturwissenschaften, muß man die alltägliche Arbeit der verschiedenen beteiligten Akteursgruppen mit in die Geschichtsschreibung der Technikwissenschaften einbeziehen.

Anmerkungen

- 1 French, C.: Ricardo at Shoreham. In: Sussex Industrial History (1995), Nr. 25.
- 2 Buchanan, R. A.: Gentlemen Engineers: The Making of a Profession. In: Victorian Studies 26 (1983), S. 407–429.
- 3 Ricardo, H. R.: Memories and Machines: The Patterns of My Life, London 1968, S. 82.
- 4 Das., S. 200.
- 5 Im Original: „Prior to the war, the design of engines for road vehicles had, with a few exceptions ..., been in the hands of cycle-makers, superb mechanics, well versed in the art of light mechanical design but, for the most part, abysmally ignorant of thermo-dynamics, or of the many other factors upon which the performance of their engines depended.“ Ricardo, Memories and Machines, S. 198.
- 6 „Fascinating Engine Research Laboratories: An Exclusive Account of the Specialized Engineering Works Maintained by Mr. H. R. Ricardo, F.R.S.“ In: The Motor, 8. April 1930.
- 7 Zweckbronner, G.: Was wollen die Technikwissenschaften? In: Hermann, A.; Schönberg, Ch. (Hrsg.): Technik und Wissenschaft, Düsseldorf 1991, S. 377–380.
- 8 Layton Jr., E. T.: Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America. In: Technology and Culture 12 (1971), S. 562–580; Ders.: Technology as Knowledge. In: Technology and Culture 15 (1974), S. 31–41; Ders.: The Revolt of the Engineers: Social Responsibility and the American Engineering Profession, Cleveland/London 1971.
- 9 Hans Rumpf hat 1969 ein Buchkapitel so genannt. Siehe dazu: Lenk, H.; Moser, S.; Schönert, K. (Hrsg.): Technik zwischen Wissenschaft und Praxis. Technikphilosophische und techniksoziologische Schriften aus dem Nachlaß von Hans Rumpf, Düsseldorf 1981, S. 147–177. Vergleiche dazu: Böhme, G.; van der Daele, W.; Krohn, W.: Die Verwissenschaftlichung von Technologie. In: Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts, Frankfurt a. M. 1978, S. 339–375 und Krohn, W.; Layton, E.; Weingart, P. (Hrsg.): The Dynamics of Science and Technology, Dordrecht 1978.
- 10 Vincenti, W.: What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History, Baltimore 1990. Zur Dresdner Schule siehe: Buchheim, G.; Sonnemann, R. (Hrsg.): Geschichte der Technikwissenschaften, Leipzig 1990 und Hänseroth, Th.; Mauersberger, K.: Das Dresdener Konzept zur Genese technikwissenschaftlicher Disziplinen – eine Bilanz. In: Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften 24 (1996), S. 20–45.
- 11 Buchheim/Sonnemann, Geschichte der Technikwissenschaften, S. 10.
- 12 Im Original: „When we attempt to answer the question ‘What is history?’ our answer, consciously or unconsciously, reflects our own position in time, and forms part of our

-
- answer to the broader question what view we take of the society in which we live.“ Carr, E. H.: *What is History*. 2. Aufl., London 1990, S. 8.
- 13 Layton, *Technology as Knowledge*.
 - 14 Vincenti, *What Engineers Know*, S. 14.
 - 15 Hänseroth/Mauersberger, *Dresdener Konzept zur Genese technikwissenschaftlicher Disziplinen*, S. 25.
 - 16 Für eine Zusammenfassung dieser soziologischen Tradition siehe: Felt, U.; Nowotny, H.; Taschwer, K.: *Wissenschaftsforschung. Eine Einführung*, Frankfurt a. M. 1995.
 - 17 Ricardo, H. R.: *Some Mechanical Problems in Relation to High Speed Diesel Engines*. In: *De Ingenieur* (1935) Nr. 8. Im Folgenden wird aus einer inoffiziellen Übersetzung zitiert: *Einige mechanische Probleme bei der Entwicklung schnellaufender Dieselmotoren*, Manuskript, Hamburg 1935; in der Bibliothek der Firma Ricardo Consulting Engineers Limited, Shoreham-by-Sea, England, unten „Firma Ricardo“ genannt.
 - 18 *Das.*, S. 2.
 - 19 Der Begriff „Habitus“ wird als ein „System dauerhafter und versetzbarer Dispositionen“ verstanden. Bourdieu, P.: *Entwurf einer Theorie der Praxis auf der ethnologischen Grundlage der kabyllischen Gesellschaft*, Frankfurt a. M. 1979, S. 169.
 - 20 Im Original: „Hopkinson had his eyes fixed always on high speeds and prophesied that, given sufficient turbulence, there was no limit in sight to the speed at which an internal combustion engine could run, and run efficiently.“ Ricardo, *Memories and Machines*, S. 92.
 - 21 Ricardo, H. R.: *On the Testing of Engines*. In: *The Automobile Engineer* (1923), S. 250–255.
 - 22 *Das.*, S. 254, 250.
 - 23 Im Original: „... the best mechanical designers appear to pay little attention to the theoretical side of the question.“ Ricardo, *On the Testing of Engines*, S. 254.
 - 24 Alcock, J.F.; Glyde, H.S.: *The Practice of Research: The Equipment Provided and Methods in Use at the Works of Ricardo*. In: *Aircraft Engineering* September/Oktober 1930. Vergleiche auch den Artikel „Fascinating Engine Research Laboratories“. Dort wird die Ausstattung und Arbeit in den Prüfungswerkstätten näher beschrieben.
 - 25 Latour, B.; Woolgar, S.: *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, London and Beverley Hills 1979.
 - 26 Beispiele verschiedener Perspektiven dieser ethnologischen Forschung finden sich bei: Dubinkas, F. (Hrsg.): *Making Time: Ethnographies of High-Energy Organizations*, Philadelphia 1988.
 - 27 In seinem Buch unterscheidet Munslow zwischen der empiristisch angelegten rekonstruktivistischen, der sozialwissenschaftlich orientierten konstruktivistischen und der von den Quellen eher unabhängigen dekonstruktivistischen Perspektive. Siehe: Munslow, A.: *Deconstructing History*, London/New York 1997.
 - 28 Es wurde zum Beispiel das sogenannte „Higher National Certificate from the Institution of Mechanical Engineers“, vergeben.
 - 29 Im Original: „Stopped almost at once, as starter became red hot.“ Dieses und die folgenden Zitate stammen aus dem Archiv der Firma Ricardo, Notizbuch „E6-1. No. 1, Variable compression engine Petrol and C.I., 3“ x 4³/₈“, C902.A.“, 1935–1937 (hier S. 2).
 - 30 Im Original: „Cam rod straightened and twisted.“ Archiv der Firma Ricardo, Notizbuch, S. 5.
 - 31 Im Original: „In general, each problem must be treated on its own merits and hard and fast rules cannot be laid down.“ Alcock/Glyde, *The Practice of Research*.

-
- 32 Für die ursprüngliche Darlegung dieses Begriffes siehe: Polanyi, M.: *Personal Knowledge – Towards a Post-critical Philosophy*, London 1958.
- 33 Im Original: „Combustion is quite smooth at all loads and speeds, but air intake is noisy at present.“ Archiv der Firma Ricardo, Notizbuch, S. 33.
- 34 Im Original: „better than Comet Mk II under same conditions“; „smooth at all loads, and no missing.“ Das., S. 39.
- 35 Im Original: „Slightly rough at 45°E, and exhaust SV/VSD, below 41°E exhaust clean. Peak of torque curve about 36°E.“ Das., S. 41. Statt den Zeitpunkt der Brennstoffeinspritzung direkt zu messen, wird der Winkel zwischen der Kolbenachse und der Zylinderwand am Moment der Zündung abgelesen.
- 36 Im Original: „Exhaust clean down to about 16.5 CR, below this gradually became dirty, being MD/D at 14.85 CR. Exhaust had the peculiarity of being alternately clean and dirty.“ „CR“ (compression ratio) steht für das Verhältnis zwischen Zylinderdruck und normalem atmosphärischen Druck, und „MD/D“ heißt „mittelschmutzig/ schmutzig“ (medium dirty/dirty). Das., S. 42.
- 37 Im Original: „New whitmetal big end bearing fitted. New bearing fitted to top of vertical shaft in place of seized one. The new one is white-metal on bronze. A new white-metal bronze bearing has been fitted to front end crankshaft bearing, and this is now pressure fed from crankshaft which has been drilled. A special spring loaded oilsealing washer has been fitted to rear camshaft bearing. In order to take oil temperatures a thermometer pocket has been fitted in crankcase (pump chamber).“ Das., S. 45.
- 38 Traweek, S.: *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*, Cambridge/Mass. 1988.
- 39 Lynch, M.: *Art and Artifact in Laboratory Science: A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*, London 1985, S. 115.
- 40 Im Original: „It was decided not to continue with this nozzle.“ Archiv der Firma Ricardo, Notizbuch, S. 52.
- 41 Im Original: „These figures also agree with previous results.“ Das., S. 50.
- 42 Latour, B.: *Les microbes. Guerre et paix suivi de irreductions*, Paris 1984.
- 43 „A.E.C. 6 Cyl: 106 mm x 146 mm. C916C. Also A.E.C. 6 Cyl 105 mm x 146 mm Comet Mk. III. (from page 15)“, Archiv der Firma Ricardo: Notizbuch, Notiz vom 8. Juni 1937. Orig.: „... that the engine was in a fine state to be dispatched back to the makers for road tests.“
- 44 Siehe Archiv der Firma Ricardo: „Visit of C. W. R. Smith to AECs on the 29th July 1937“; Bericht in der Mappe „AEC Mk III* Head Road Tests, Jan 1934 – Jul 1937“.
- 45 Das.; Orig.: „...service conditions [to] imitate.“
- 46 Im Original: „The experimental coach was driven in the same manner as a London bus driver would employ, i.e. accelerating away from stopping places in 2nd gear, changing into top gear as quickly as possible, and then holding on to that gear until the next stop.“ Archiv der Firma Ricardo: Smith, C. W. R.: „Report (No. 1086) on Comparative Road Tests of the Ricardo ‘Star’ MK: III and the Standard MK: III Comet Combustion Chambers on the 7.58 litre AEC Oil Engine.“ 1937, Manuskript in der Mappe „AEC Mk III* Head Road Tests, Jan 1934 – Jul 1937“.
- 47 Das Problem, die Kluft zwischen Entwickler und Nutzer zu schließen, erinnert an ein moderneres Beispiel von der Entwicklung des fünfzylindrigen Motors für das Modell Volvo 850 am Anfang der 1990er Jahre, wobei Probleme entstanden, weil viele beschleunigungsfreundliche Fahrer direkt vom zweiten in den fünften Gang umschalteten – ein Fahrstil, den die Entwickler nicht vorausgesehen hatten.

-
- 48 Im Original: „Attempts were made to climb Harrow Hill which is admittedly quite steep in parts, but a good climb depends on so many factors, such as unimpeded approach, clear run, since the road is narrow, and lastly the driver’s skill, and luck on this particular gear box.“ Archiv der Firma Ricardo: Smith, Report (No. 1086).
- 49 Im Original: „The results obtained all depend on one man.“ Archiv der Firma Ricardo, Bericht Nr. 1086.
- 50 Das.: „very much quiete“.
- 51 Zitiert nach Ricardo, H. R.: Applied Research. In: Proceedings of the Insitution of Mechanical Engineers 152 (1945), S. 143. Im Original: „To be successful, the applied re- search worker must also have a vivid imagination, but experience, sound judgement and common sense are more important to him than scientific eminence.“

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Mikael Hård
Technische Universität Darmstadt
Institut für Geschichte
D-64283 Darmstadt