

Max Stadler

Biophysikalisches Doppelleben, 1939–1946. Oder: Räume der Lange-weile. Zur (Nicht-)Zäsur des ‚Informationsdiskurses‘¹

Summary: Biophysical Double-lives, 1939–1946. Or: Spaces of Boredom. On ‘Information Discourse’ and (Dis)continuities in the Life Sciences. Arguably, few things have shaped the historiography of the mid-twentieth century psy-sciences (and indeed, of the life sciences and science/technology/intellectual life quite generally) more profoundly than the story of cybernetics. This essay aims to undermine this technofuturistic picture of epistemological upheavals, of cyborg regimes of knowing, and of the incipient post-human, by reinserting back into the story the rather dull and unspectacular lives (and occupations) of the great majority of British, ‘diverted’ biologists during World War II. Instead of Ratio Clubbers or Macy-Conference frequenters, this essay is concerned with a much larger population of would-be biologists and their most pedestrian appropriations of, and exposures to, electronics. What I argue is that the prevalence and systematicity of such exposures in the course of the personnel-hungry radio-war points to a very different – low-key – picture of the war/technology-induced deflections of biological science at mid-century. As an example of how deeply at odds narrations of cybernetic’s ascent tend to sit with developments on ground level, special attention will be devoted to the physiologists-turned-radar-scientists Alan Hodgkin and Andrew Huxley, and their war-time, or more properly, spare-time investigations into the biophysics of nerve. The latter – technical, difficult, and utterly unphilosophical – while absent from the cyber-theme-focused historiography, provided the basis for the tremendous impact Hodgkin and Huxley would in fact have on the mainstream, disciplinarily conservative physiological sciences; the larger aim however is to weave these far from peculiar biographical trajectories into a somewhat bigger picture of the intersections between radar electronics and biological science: a picture which does not centre on sensational discourses but on mundane electronic practices; and thus, on the generational experience of those who were known at the time as “ex radar folk with biological leanings”.

Keywords: cybernetics, biophysics, nerve-physiology, neuroscience, Hodgkin-Huxley model, radar, World War II

Schlüsselwörter: Kybernetik, Biophysik, Nervenphysiologie, Neurowissenschaften, Hodgkin-Huxley-Modell, Radar, Zweiter Weltkrieg

März, 1940. St. Athan, South Wales – „I find it difficult to think of things here“. So zumindest schreibt ein gewisser Alan Hodgkin – 26 Jahre jung, seines Zeichens Physiologe, und eigentlich wohnhaft im klösterlichen Cambridge – in eben diesem März an seine Mutter; und weiter:

There isn’t much to tell except about my work and that is supposed to be very secret. My daily programme is something like this: Get up at 7.40 breakfast at 8.0, leave around 8.40 arrive at St. Athan soon after 9.0. Work until 10. Lunch in the officers mess. Work till 6.0 with interval for tea. ... supper at 7.0.

Evenings usually are wasted. I made a good resolution that I would try + finish writing up some nerve work and I thought I would be able to do it in the evenings or over the weekends. But so far I haven't managed to do much although I've spent a good deal of time sitting with a piece of paper in front of me.²

Dieser treuherzige Sohn, so möchte man meinen, ist also ein bisschen frustriert. Dies wiederum ist so verwunderlich nicht, ist er doch kaum jemand, der sich geheimen Dingen zu widmen pflegt, sondern, wie schon erwähnt, von Haus aus Physiologe. Und nicht irgendeiner darüber hinaus: Ein Spross der berühmten ‚Cambridger Schule‘;³ jemand mit beträchtlichem Ruf trotz zarten Alters. Noch bis vor wenigen Monaten experimentierte Alan Hodgkin dann auch ganz eifrig – und folgenreich – an den wenig geheimen, aber um so zerbrechlicheren Riesenaxonen des Tintenfischs herum (und zwar in weitaus angenehmerer Umgebung, dem idyllischen, naturnahen Plymouth nämlich). „[O]ne feels a bit in an ivory tower doing abstract scientific experiments in the present time“, schrieb er noch im Sommer von diesen eher abstrakten Angelegenheiten der Nervenforschung, welche uns im Folgenden noch näher beschäftigen werden.⁴

Und allerdings sollte ihm dieser Weltkrieg, in dem man sich dann ja auch schon fast befindet, hier gewissermaßen einen Strich durch die Rechnung machen. Ganz plötzlich jedenfalls findet Hodgkin sich wieder – als Teil der Airborne Radar Group 12 –, in eben jenem St. Athan, wo man sich mit gänzlich unphysiologischen Problematiken auseinandersetzt, oder setzen muss: der Entwicklung von Radartechnologien. Und auch diese werden uns im Folgenden noch näher beschäftigen. Genauer, beschäftigen soll uns die Verschränkung dieser Technologien, in ihren materiellen und lebensweltlichen Qualitäten, mit eben jenen abstrakten Experimenten, die Hodgkin scheinbar so schmerzlich vermisst und für die er, bestenfalls, noch in den energiearmen Abendstunden Zeit findet; und dann auch nur am Schreibtisch und auf einem Blatt Papier. Stehen doch am Ende dieser sechs Jahre Krieg nicht nur eine ganze Reihe mehr oder weniger ausgereifter und (aus britischer Sicht) kriegsgewinnender Radartechnologien, sondern sollte sich auch – in jenen sechs Jahren „wasted evenings“ am Schreibtisch – eine Wandlung vollziehen hin zum Ingenieursmäßigen in Hodgkins ureigenstem Gebiet, der Nervenforschung. Präziser noch: Steht doch am Ende, zumindest in groben Zügen, genau jenes wegweisende, biophysikalische ‚Modell‘ der Nerventätigkeit, welches einst den Namen Hodgkin-Huxley-Modell tragen wird und welches, trotz der Verständnisschwierigkeiten, welche es selbst in Physiologenkreisen bereiten würde, bereits in den 1950er Jahren als „one of the brightest chapters of neurophysiology and even biology of all time“ gefeiert werden sollte.⁵ Für Zeitgenossen war es beeindruckend vor allem dann, wenn diese wussten, wie es noch vor dem Krieg zugeing in der physiologischen Messtechnik und in Sachen graphischer Methoden. Dann nämlich gab es Grund genug sich zu beschweren, mit Blick auf das Wissen um die Nervenaktivität, über „Willkür“, pure „Phänomenologie“ und Mangel an „physikalischem Sinn“; und mehr noch, den tiefen Graben zwischen fehlgehender Empirie und grobschlächtiger Theorie.⁶ Solche Stimmen sollten schon bald verstummen. Für dieses Meisterstück der Verschmelzung von Modellierungsarbeit und Messtechnik – um nicht weniger handelte es sich nämlich – werden Alan Hodgkin und sein auf ganz ähnliche Weise durch den Krieg verhandelter Kollege Andrew Huxley dann nur wenig später, 1963, auch tatsächlich einen Nobelpreis einheimen.⁷ Nicht eine Meisterleistung allerdings steht hier zur Debatte.

Im Gegenteil: Zum Ersten wird (ganz im Sinne des Titels) zu zeigen sein, wie sich dieser Neu-Entwurf der Nerventätigkeit hin zum Technisch-mathematischen, um etwas salopp mit Heidegger zu sprechen, abzuzeichnen beginnt in eben jenen Doppelleben, welche sowohl Hodgkin als auch sein Kollege Huxley als in die Radarforschung verirrte Lebenswissenschaftler zu führen genötigt sind.⁸ Anders gesagt, das Folgende handelt davon, wie man es sich nun genau vorzustellen hat, dass dieser biographische und historische Einschnitt mit der Nervenforschung kommunizierte: Ein Einschnitt der diese Wissenschaftler notgedrungen nicht nur von der konkreten, biologischen Experimentaltätigkeit entfernte, sondern – und unschwer vorstellbar – ganz andere Arten von Zeitvertreib mit sich brachte.

„All this seems another world now“, kommentiert Hodgkin dann auch bald sein Vorkriegsleben als ein der Empirie zugeneigter Forscher.⁹ Und je länger dieser Krieg dauern sollte, desto frustrierter wird er: Im Januar 1940 schreibt er schon, wiederum an seine Mutter, er hätte „kaum noch Energie“; im Mai, er fände es schwierig des Abends überhaupt noch Dinge zu tun, welche „konstruktiv“ wären („we don't seem to do much else besides work and listen to the radio“); noch ein paar Monate später, er sei oftmals „deprimiert“; und spätestens Anfang 1943 wird Hodgkin endgültig klar, dass sein „job“ kaum noch dem eines Wissenschaftlers ähnelte (der nämlich erschien ihm „daily less like a scientist and more like an organiser“).¹⁰ Nicht zuletzt also, so die These, verschränken sich Nerventheorie und Radartechnologie in diesem, Hodgkins mitunter frustrierendem Doppelleben: Stunden der Langeweile, öde Abende am Schreibtisch, der graue Alltag kriegerischer Wissenschaft – so bestimmte sich dieses in nicht unbeträchtlichem Ausmaß. Dann und wann, immerhin, fand sich so die Muße, sich ganz explizit den alten Fragen zuzuwenden; und immer schon, so wird zu zeigen sein, übte dieser das Denken schwer-machende Alltag subtilen Einfluss auf die Form dieser Fragen (welche nun in der Tat schwierig waren).

Zum Zweiten aber sollen diese Szenen physiologischer Daseinswandlung, so deprimierend und kräftezehrend sie sich auch erlebt haben mögen, nun nicht schon allein dem Selbstzweck willen wiederbelebt werden. Vielmehr soll es, historiographisch gesehen, genau um dieses andere Bild des Zweiten Weltkriegs gehen, welches, so zumindest lautet das eigentliche Argument, sich hier genauso abzuzeichnen beginnt: Der Krieg als Raum der Langeweile. Behauptet wird damit natürlich nicht, Hodgkins Beschwerden hin oder her, dass dieser Krieg schon als solcher ein besonders langweiliger gewesen wäre oder notwendig als solcher empfunden wurde.¹¹ Vor allem soll damit – mit Anspruch auf Entzerrung – das historiographische Augenmerk ganz gezielt auf diejenigen Elemente des Ineinanders von Biologie, Physik und Elektronik gelenkt werden, welche in aller Regel unter den Tisch fielen und fallen, wenn von der Jahrhundertmitte als Umbruchszeit die Rede ist: Den tendenziell ‚langweiligen‘ eben; denjenigen, die, wie Hodgkin und Huxleys Arbeiten zur Biophysik der Nerven, sich als nicht anschlussfähig und -würdig erwiesen an die philosophisch-historischen Diskurse, welche seither von diesen Vorfällen zehren.¹²

Mit Langeweile wäre also angespielt, zum einen, auf den alles andere als langweiligen, weil technofuturischen und massenwirksamen Diskurs von der kybernetischen Transformation zur Jahrhundertmitte. Letzterer speiste sich, damals wie heute, namentlich aus dem Dunstkreis der Radarforschung – und geizte kaum je mit hochtrabenden Kategorien: Man erinnere sich etwa an Norbert Wiens dictum ob der Obsoleszenz von Materie und Energie, oder Martin Heideggers kaum weniger omi-

nösen Spruch apropos der Kybernetik, „Nur ein Gott kann uns retten.“¹³ (Mitgemeint ist hier allerdings auch, wie ich gleich noch näher ausführen werde, die im engeren Sinne immer wiederkehrende Bezugnahme zur Kybernetik als Umsturzergebnis in der Geschichte der Biowissenschaften). Zum anderen ist angespielt – in schlechter Übersetzung – auf ‚longue durée‘: Also auf jene wissenschaftlichen, disziplinären und technischen Kontinuitäten, die sich, allzumal was die Nervenforschung angeht, von diesen vermeintlichen Umbrüchen fast unberührt durch diese Kriegserfahrung(en) und den damit implizierten technowissenschaftlichen Machenschaften hindurchziehen. Aus Nervenphysiologie wurde – in aller Regel – eben das: Nervenphysiologie. Und selbst die biophysikalisch-progressivst gesinntesten Vertreter derselben fanden sich wieder, nach wie vor, „almost entirely ... in departments and laboratories of physiology.“¹⁴

Überspitzt ausgedrückt soll es, allem Anschein zum Trotz, gerade nicht um die Kriegszeugung neuartiger cyborg-Wissenschaften oder wie auch immer gearteter, radikaler Diskontinuitäten gehen. Vielmehr soll es gehen, schlicht und ergreifend, um die allerdings vielen, aber kaum jemals aufsehenerregenden Verstrickungen biologischer und elektronischer Wissensräume. Der Fall des Hodgkin-Huxley-Modells konzentriert diese lediglich auf, so meine ich, instruktive Weise. Insofern ist auch zentral, um den Knackpunkt folgender Ausführungen schon einmal vorwegzunehmen, dass es sich hierbei nicht um kuriose Einzelschicksale handelt, sondern eher schon, im Falle Englands zumindest, um eine Generationserfahrung. Die Nachkriegskarrieren namhafter britischer Biologen wie John Kendrew, Francis Crick, Conrad Waddington, Richard Keynes, John Pringle oder John Bates sind diesbezüglich – einschlägig – bekannt.¹⁵ Nicht weniger als ein Drittel aller Studenten aller biologischer Fächer allerdings, so wird sich nämlich zeigen, wurde dort während der Kriegsjahre zu ähnlichen unbiologischen, aber um so elektronischeren Tätigkeiten verdammt; insgesamt gingen die Zahlen in die Zehntausende: Schüler, Postbeamte, und mehr. Und ganz diesen Zahlen entsprechend ging es dann in erster Linie auch nicht um avancierte Forschung und arkanes Wissen – ob nun sagemumwobene ‚radar-predictors‘, Elektronengehirne, oder Geburt der Informationstheorie – sondern um die breitflächige Vermittlung des ganz praktischen Umgangs mit elektronischer Gerätschaft: Ein Großprojekt elektrotechnischer An- und Umwendung, an dessen Rändern und Zwischenräumen, und kaum der Rede wert, sich auch jenes Hodgkin-Huxley-Modell formte (letzteres war sehr wohl Objekt avancierten Wissens, nicht aber schon, wie gesagt, diskursfähig).

Im Folgenden soll es also gerade nicht um einen Krieg als Innovationsschmiede und historische Zäsur sondergleichen gehen, wie das üblicherweise in Kulturwissenschaft, Wissenschafts- und Mediengeschichte geschieht (und nicht zuletzt mit Blick auf die Geschichte von Biologie und Nervensystem): den Informationsdiskurs also, oder ‚cyborg sciences‘ und vermeintliche Urszenen des Posthumanen.¹⁶ Ob diese Narrative nun explizit als Rahmenerzählung fungieren, oder nur implizit, sie gehen ganz wesentlich an den eher mondänen, aber umso beträchtlicheren, historischen Realitäten vorbei. So zumindest wird hier zu Bedenken gegeben.¹⁷ Andrew Pickering kürzlich erschienenen Manifest *The Cybernetic Brain* bringt – im Untertitel – was hier auch mitgemeint ist auf den Punkt: *Sketches of Another Future* heißt es da, und tatsächlich man muss Pickering nur ein klein wenig das Wort im Mund umdrehen, um zum Schluss zu gelangen, dass die Kybernetik eine zwar bunte, aber kaum

zukunftssträngige Randerscheinung war. Denn, wie Pickering dort – durchaus ungewöhnlich – argumentiert (und zu seinem Leidwesen feststellt), ausgerechnet den in kulturwissenschaftlichen Diskursen immer wiederkehrenden ‚poster-boys‘ der Kybernetik war kaum Einfluss beschieden jenseits ihrer so „nicht-modernen“ wie idiosynkratischen „performances“.¹⁸

Nicht angezweifelt werden soll damit schon, dass diese Kybernetik (oder im weiteren Sinne eben, ein ‚Informationsdiskurs‘) in weiteste Gebiete des Wissens Einzug hielt.¹⁹ Noch wird hier davon ausgegangen, dass sich ohne weiteres eine Trennung von Diskurs und Praxis, von kybernetischer Spekulation und fundamentaler Biophysik, vornehmen ließe oder dies sinnvoll wäre. Wohl aber davon, dass das allzu exklusive Augenmerk auf das Diskursive, Undisziplinierte und Neuartige – die „stimulating phrases and half finished experiments“, wie dies niemand anderes als der EEG-Kybernetiker Grey Walter einst höchstselbst festhielt – den historischen Blick auf die weitaus weniger stimulierende, aber durchaus wirkmächtige Betriebsamkeit des wissenschaftlichen Mainstreams trübte;²⁰ und ferner, dass, insofern Ersteres als ‚Kontext‘ und Ausdruck historischer Realitäten zu fungieren pflegt, somit Randständiges zum Mittelpunkt und Ursache erhoben wird – auf Kosten der weniger stimulierenden, historischen Agenten und Triebkräfte.

Tatsächlich ließe sich in historisierender Absicht relativ einfach zeigen, – wie das neuerdings ja auch auf ganz vielfältige Weise geschieht – dass der kybernetische Diskurs nicht zuletzt und vor allem ein populärer, technofuturistischer, philosophischer und parawissenschaftlicher war: Wörtlich eben, ein Diskurs und als solcher Epiphänomen so unzähliger wie spröder Einzelentwicklungen in ebenso unzähligen – aber in der Regel weitaus wenig gut erschlossenen – Gebieten technischen Wissens und Tuns; ein Diskurs, ferner, der nicht zuletzt im Fernsehen, in Radio und in Hochglanzmagazinen vonstattenging; und einer, den man also vielleicht etwas vor-schnell zu einem historischen Vorfall epochalen Ausmaßes stilisiert hat, ohne aber dessen wohlbekannte Popularität und massenmedialen Bedingungen der Möglichkeit ausreichend zu reflektieren.²¹ Zu oft, so wäre ausführlicher zu zeigen, wird in der Aufarbeitung der Kybernetik als Wissens- oder Kulturgeschichte die Problemlage verkürzt verstanden als Reflexion einer Spezialwissenschaft in Musik, Literatur und Kunst.²² Am Grundnarrativ und Verständnis dieser Wissensformen selbst aber änderte sich dabei wenig – genauso wenig, wie wenn die Diffusion dieses Diskurses in die niederen Bereiche menschlicher Kulturtätigkeit ins Blickfeld rückt und Kybernetik als davon informiert, aber vor allem, als diese informierende verstanden wird.²³

Nichtsdestotrotz soll hier strategisch anders vorgegangen werden. Im Weiteren jedenfalls wird im Zusammenhang mit der Nervenwissenschaft kaum noch von Kybernetik die Rede sein, sondern von jenen kaum Aufregung-verursachenden, aber umso zahlreicheren Wissensarbeitern, denen der Weltkrieg allerdings und auf ganz praktische Weise die Augen für das Elektronische geöffnet hat. Und so gilt dann auch, dass man sich die Helden der folgenden Ausführungen nicht als weißbekittelte Forscher vorzustellen hat, und noch weniger, als einen Norbert Wiener, der, wenn er nicht philosophiert, in Geheimlaboren an Zukunftstechnologien herumtüftelt. Eher schon, wie einen jener „anonymen Biologen“ die sich im Jahr 1952 in der Zeitschrift *Discovery* zu Wort melden würden, und zwar, um sich zu beschweren: Nämlich, dass man ihre Talente verschwendet hätte, um sie, scheinbar wahllos und zufällig, einzusetzen als „truck driver, photo interpreter, squadron officer boy, poster artist,

heavy labourer in a bomb dump and stock-control clerk“. Und alles nur, um sie letztendlich einem zehnmönatigen Crashkurs zum Radarmechaniker zu unterwerfen; auch dies, offenbar, eher langweilig und wenig reizvoll – „a subject of which I knew nothing and cared less“.²⁴

1. Nerven/Technik – Geschichte

Sommer, Sonne, Meer – 1939. Die Welt wartet auf einen Krieg. „I am waiting now for squids“, schreibt Alan Hodgkin, etwas ungeduldig, noch im Juli aus Plymouth, „which so far have not been coming in very well“.²⁵ Die Tintenfisch-Situation zumindest sollte sich bald entspannen und im August schon weiß Hodgkin von einem „exciting experiment“ zu berichten, welches er und sein studentischer Kollaborateur Huxley – wie Hodgkin selbst ein Abkömmling des Cambridge Natural Sciences Tripos – scheinbar zum Laufen bringen – „if it comes off ... [it will] be the most important thing I've ever done“:

This is to get a wire inside the giant nerve fibre and record nervous messages from inside instead of obtaining them from outside as everyone has done up till now. The experiment worked perfectly the second time we tried and I can see no reasons why it shouldn't work again. So we're both very excited.²⁶

Dieses so spannende wie diffizile Experiment, in dem man also versucht, eine Messelektrode in das Innerste der Nerven einzuführen, war also ganz klar als bahnbrechendes konzipiert. Neu und weitgehend unerprobt war die Messmethode: intrazellulär; dementsprechend neu war auch das experimentelle Objekt: das Riesenaxon des Tintenfischs (lolo), von dessen Existenz und ungewöhnlichen Ausmaßen die Elektrophysiologie erstmals 1936 Notiz genommen hatte.²⁷ Nur drei Sommer später, im August 1939, förderte es bereits unerhörte Dinge zu Tage. Wurde nämlich die Potentialschwankung beim Nervenimpuls, so wie hier geschehen, direkt durch die Nervenfaserdecke hindurch gemessen, verzeichneten die Aufschreibegeräte – eine Kombination von Kathodenstrahl-Oszilloskop und Photokamera in diesem Fall – eine durchwegs verwirrende Dynamik des Nervengeschehens. Ganz anders jedenfalls, als wenn man längs eines ganzen Bündels von Nervenfasern und an deren Außenfläche gemessen hätte, wie man – „everyone“ – das üblicherweise eben noch gemacht hätte im Jahre 1939. Scheinbar, und in scheinbarem Widerspruch zu gut 100 Jahren elektrophysiologischer Wissensproduktion, kehrte sich das Vorzeichen bei der Nervenaktion nun ins Negative um: Ein „overshoot“ der Spannung, notierte Hodgkin so knapp wie perplex ins Tagebuch: „Why action potential bigger than resting potential [sic]“?²⁸

Das Schicksal dieser Frage oder jenes, von Hodgkin bald so betitelte, „action-potential problem“ ist es dann auch, welches hier durch die Kriegsjahre verfolgt werden soll. Ein Problem war es nicht zuletzt, weil dieser ‚overshoot‘ allerdings nicht so recht ins Bild von der Nervenaktion passen wollte, welches man sich 1939 noch machte. Diesem Bild zufolge – in unzähligen Kurven festgehalten, in Lehrbüchern erklärt, und jedem Physiologen als Membran-Theorie ein Begriff –, sollte das Aktionspotential lediglich aus dem ‚Zusammenbruch‘ des Ruhepotentials resultieren; dieser wiederum – und hier verließ man bereits die Pfade gesicherten Wissens –, wohl verursacht durch eine Art ‚Lockerung‘ oder ‚Disintegration‘ der Zellmembran.²⁹ Aktions- und Ruhepotential, so war es jedenfalls zu erwarten, sind von gleichem Betrag und in der Summe Null – von ‚overshoot‘ keine Spur und kein

Schimmer. Einmal entborgen, sollte dieser Überschuss unsere beiden Nerven-Biophysiker aber umso intensiver beschäftigen; beziehungsweise, die dazugehörigen Messwerte sollten sie beschäftigen. Wenn auch, so wissen wir bereits, in gänzlich anderen Umständen: inmitten der radar-elektronischen Betriebsamkeit.

Noch aber war alles (fast) beim Alten. Und abgesehen von überdimensionierten Nervenfasern und intrazellulären Messverfahren, ging man im Sommer 1939 so vor wie man das eben machte im Cambridge der Zwischenkriegszeit (und anderswo): in bester Radiobastlermanier, mit Hilfe zweckentfremdeten, funktechnischen Geräts, mit handgefertigten Spezialverstärkern, auseinandergenommenen Telefonen, Neonröhren, Lautsprechern und was sich sonst noch so fand an verwertbaren Konsumgütern dieser Jahre, welche ja ganz allgemein im Zeichen des Rundfunks standen.³⁰ Dementsprechend lässt sich auch in der (immer schon technischen) Elektrobiologie ganz beiläufig ein immenser Zuwachs technischen Wissens feststellen, ganz analog zur Überformung der Zwischenkriegszeit-Experimentalphysik durch die hobbyistische ‚radio culture‘ oder besser noch, die zeitweilige Etablierung der letzteren als geläufige Quasi-Kulturtechnik – kaum verwunderlich auch, war es doch eine „Zeit, in der jedes Kind von Abstimmung, Siebkreis und Verzerrung spr[ach]“ (wie dies der deutsche Sinnes- und Wehrphysiologe Otto Ranke einmal lobend notierte).³¹ Tatsächlich wurde etwa in Cambridge spätestens um 1930 ein „electronic kindergarten“ – speziell für Physiologie-Studenten – eingerichtet, erste radiotechnische Erfahrungen machte man fast zwangsläufig schon jenseits der Labore, und das notwendige Rüstzeug gab es in aller Regel sowieso ganz einfach im Radiogeschäft ums Eck – und zwar, so erfuhr man es beispielsweise beim Wiener Elektrobiologen Robert Heller, „jetzt überall in vortrefflicher Ausführung [und] relativ billig.“³² Ein Vertreter der Zunft wie Alan Hodgkin wäre – ganz ungezwungen – also keineswegs gänzlich unvorbereitet gewesen auf einen funkmesstechnischen Krieg.

Dessen Ausmessung des ‚overshoot‘ war, so wäre dann zunächst auch festzuhalten, so bahnbrechend wie lange angebahnt: Man befindet sich hier auf einer nervenphysiologischen Linie, die weit ins 19. Jahrhundert hineinreicht, und die mit so ehrfurchtseinflößenden Namen wie Helmholtz, Du Bois-Reymond, Bernstein, Lucas und Adrian in Verbindung steht. Und auch war – wie das physikalisch-gesinnte, und am technischen Puls der Zeit lebende Elektrophysiologen gerne proklamierten³³ (und wie dies Wissenschaftshistoriker wie Cornelius Borck, Sven Dierig und Henning Schmidgen für das 19. und frühe 20. Jahrhundert zeigten)³⁴ –, diese Wissenschaft von den Nerven immer schon tief verwurzelt in den materiellen, elektro-medialen Dingwelten der physiologischen Forschung. Dementsprechend weit war sie davon entfernt sich auf eine Geschichte bloßer Aufschreibesysteme reduzieren zu lassen.³⁵ Verstärken, messen, stimulieren, kalibrieren – allesamt der Tendenz nach interventionistische Maßnahmen, die sich nicht mehr wegdenken ließen aus dem elektrobiologischen Schaffen. Daran wird sich auch im Radarkrieg nichts grundlegend ändern; genauso wenig wie die Entdeckungen im Sommer 1939 fundamental abweichen würden von den Annalen der Elektrophysiologie. Wohl aber tut sich Eines in den eher unscheinbaren Details – und gerade auch jenseits der Inskriptionsapparate und Registrierverfahren (welche natürlich ihrerseits immense Fortschritte machten).³⁶

Was sich hier ganz sanft zu verschieben begann, betrifft nicht zuletzt das Verhältnis von Empirie und Theorie, von Messung, Quantifizierung und Anschauung: Wo

man sich einst zufrieden gab mit vagen Korrelationen (und von Reiz-Gesetzen träumte), da erschienen nun – so exakt wie denkökonomisch – Modelle. Und wie sich zeigen wird, steht damit die Auflösung des nervösen Vorzeichenwechsels allerdings im Licht einer sich um 1940 formierenden ‚electronic science‘ (oder negativ ausgedrückt: weniger in jenem der ‚wireless arts‘, wie man sich noch in der Zwischenkriegszeit auszudrücken pflegte). Dementsprechend wird sich der Nervenimpuls dann auch im Licht elektrischer, raum-zeitlicher Mikrodimensionen enthüllen und nicht, wie das bis weit in die 1930er Jahre der Fall gewesen wäre, im Licht vor allem empirisch-anschaulichen „curve-fitting[s]“ und entsprechenden, auf ganz „willkürlichen“ Annahmen fußenden, mehr oder weniger spekulativen Theorien ob des biophysikalischen Grundgeschehens.³⁷

Hinsichtlich letzterer Praktiken – der Pfscherei mit den Kurven – beschwerte sich noch um 1939 – und erzwungenermaßen auf Englisch –, nicht nur ein gewisser Bernhard Katz ganz massiv. Ob man mit solch abschätzigen Attacks den Zuständen elektrobiologischen Wissens und Tuns immer schon gerecht wurde, sei hier dahingestellt;³⁸ durchaus richtig und verbreitet war die Einschätzung, dass man konzeptionell an Grenzen gestoßen sei, der ganzen Radiobastelei und deren Fortschritte zum Trotz. Und auch ein Katz – die rechte Recht Hand des Londoner Biophysikers A.V. Hill immerhin (seinerseits Mitglied des hochgeheimen, mit der hiesigen Radarentwicklung betrauten Committee for the Scientific Survey of Air Defence) –, sah da noch nicht viel weiter; nicht viel weiter jedenfalls als die unzähligen Objekte seines Zorns, welche in Kliniken, Anstalten und Laboren zum Zweck der Forschung und Diagnose aufs Eifrigste sogenannte Reiz-Reaktions-Kurven anfertigten. Kurven: Sei es, um damit „Reizgesetze“ zu veranschaulichen, Regelmäßigkeiten festzustellen, oder aufs Exakteste Korrelationen herzustellen zwischen ihren allzu „künstlichen“ Eingriffen (etwa Stärke und Dauer des Stimulationsstromes) und dem mehr oder weniger impulsiven Resultat (einer Potentialschwankung oder Widerstandsänderung, zum Beispiel). Aber: Man sah eben nicht unbedingt weit (oder tief) in Sachen fundamentalem Nervengeschehen.³⁹

Sechs Jahre später war das schon anders. Und wenn das so war, so lag dies eben nicht zuletzt an jenem neuartigen „training and outlook“ mit welchen Hodgkin und Huxley vom Kriegseinsatz zurückkehren würden (und auch den gebürtigen Leipziger Juden Katz verschlägt es, als den Dritten im Bunde der maßgeblich an dieser Auflösung Beteiligten, zu Kriegsbeginn nach Neu Guinea – um dort Radarstationen für die Royal Australian Air Force zu warten.)⁴⁰ Allein die weiten Kreise, welche das Hodgkin-Huxley-Modell bald durch die sich im Begriff der Formierung befindlichen ‚neurosciences‘ ziehen sollte, möchten Begründung genug erscheinen, dessen Herkunft nun genauer zu beleuchten. Weitaus interessanter aber scheint mir, wie schon angekündigt, eine etwas andere Verwertungsstrategie dieser Episode.⁴¹ Soll heißen: Nicht schon das hier vonstattengehende Umdenken von Nervenaktivität an und für sich ist von historiographischem Interesse; vielmehr kommt es ganz darauf an – so zumindest wird hier argumentiert – wie dieser Wandel durch die Elektronik vor- und dargestellt wird.

Nichtsdestotrotz macht es Sinn, kurz beim Objekt dieses modellhaften Wissens zu verweilen: Abbildung 1 zeigt besagte mikro-biophysikalische Auflösung des Nervenimpulses – das ‚Modell‘ – und zwar in der für elektrophysiologisch geschulte

Augen kaum ungewöhnlichen Form in der es 1952 an die Öffentlichkeit drang, nämlich als Schaltdiagramm:⁴²

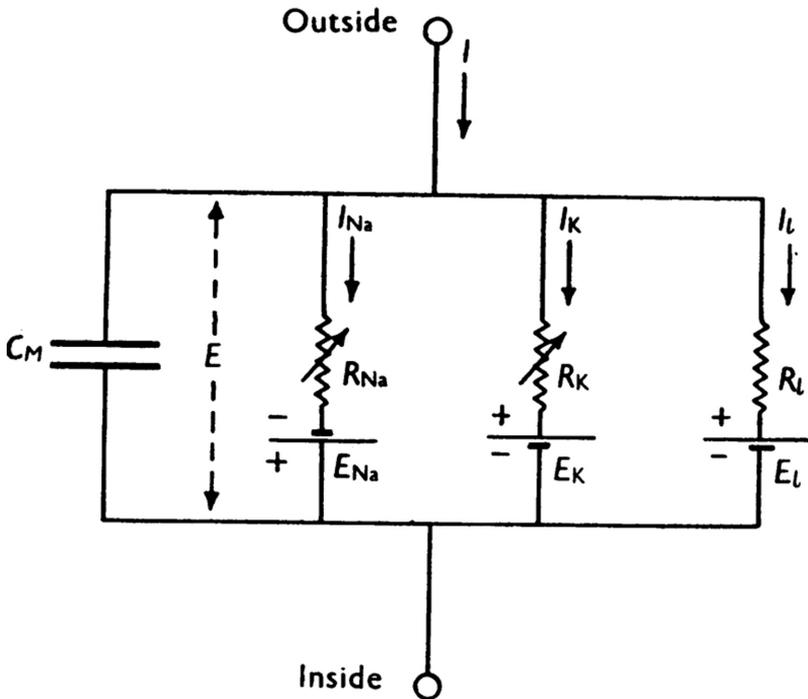


Abbildung 1: Alan Hodgkin und Andrew Huxley, A Quantitative Description of Membrane Current and its Application to Conduction and Excitation in Nerve, *Journal of Physiology* 117 (1952), 500–544, hier S. 501.

Schon ungewöhnlicher war, was hier eigentlich gezeigt wurde. Im Wesentlichen: Drei kleine, parallel-geschaltete Batterien, jeweils in Serie mit einem Widerstand, und jeweils einstehehend für die Membran-Ionenströme, die im Verbund den Nerven-Impuls erzeugen sollten: ‚Na‘ für Natrium, ‚K‘ für Kalium, und ‚l‘ für „leak“. Und noch etwas ungewöhnlicher: Deren Dynamik wiederum war durch die vier mitgelieferten Differentialgleichungen ganz peinlich genau beschrieben, welche diese bioelektrischen Verhältnisse, so sagte man, „reproduzierten“ – wenn man denn diese nur durch eine Rechenmaschine jagte.⁴³ Mehr noch: Der zentrale, elektrotechnische Kniff, der diese nie da gewesene Engführung von Theorie und Experiment – von Datenproduktion, Modellierung und Rechenarbeit – bewerkstelligen sollte, wurde an dieser Stelle ebenfalls mitgeliefert. Er war in erster Linie dazu angedacht, die real existierende Nervenimpuls-Welle kurzerhand – mittels Feedback-Kontrollschaltung – in Zeit und Raum anzuhalten.⁴⁴

In anderen Worten, hier – mit der sogenannten ‚voltage-clamp‘ Methode – wurde die Komplexität des Nervenimpulses kurzerhand, und in vivo, reduziert. Und all das einzig und allein zum Zweck der Berechenbarkeit: Um diesen Impuls – die Rede ist von mehr als 20 Parametern und ebenso vielen Messwerten – mathematischen Lö-

sungsverfahren zugänglich zu machen. Allein von einer Verschiebung hin zum Rechnerisch-Abstrakten zu reden, wäre in Anbetracht dieses messtechnischen Kunststückes und wortwörtlichen ‚re-engineering‘ also eher irreführend. Tatsächlich werden diese Fortschritte auch kaum über die engeren Disziplinengrenzen und Lehrbücher hinaus bekannt (dort allerdings ganz essentiell): Waren sie doch nicht nur schwer verständlich, sondern auch ganz schrecklich technisch; und kurz gesagt, eher unaufregend.

John Z. Young, der (Wieder-)Entdecker jenes Tintenfisch-Riesenaxons, das hier offensichtlich ganz zentral als Ermöglichungsgrund mitfungierte, brachte dies auf den Punkt mit dem etwas zweifelhaften Kompliment, welches er Hodgkin und Huxley einst auf den Weg geben sollte: „To be unkind one might say it was like giving a Nobel Prize for Literature to people who had advanced knowledge of typewriters, of ink, or perhaps of radio transmission!“ Young vermisste bei all diesen Ionenströmen und Differentialgleichungen also das gewisse, erbauliche Etwas, welches das Werk eines Literaten von den wenig reizvollen Produkten des Schreibmaschinenbauers unterscheidet (er selbst lehnte sich bei jenem Anlass dann auch weiter hinaus und sprach, wie so oft, über die Natur des Gedächtnisses). Und ganz allgemein wäre es der Fall, so konstatierte der Londoner Neuroanatom und Kybernetik-Spekulant weiter (und kopfschüttelnd), dass Physiologen die Nobelpreise gewinnen, sich allzu schweigsam geben und „seldom, or never, use words such as ‚code‘ or ‚symbol‘“ (die Verwendung letzterer Wörter hätte ganz offensichtlich einen solchen, quasi-literarischen Mehrwert bedeutet).⁴⁵

Mit solchen Ansichten – dass in der Biophysik der Nerventätigkeit kaum Anregendes abzugewinnen sei – war er dann auch kaum allein. Bereits 1948 beispielsweise warnte ein hilfreicher Journalist den Urvater der Kybernetik selbst, den berühmte-berühmtesten Norbert Wiener, und zwar dahingehend, dass es „virtually impossible“ wäre, „to present a theory ... in a manner which will attract and hold public attention“.⁴⁶ Denn in der Tat schlägt sich Wiener just zu diesem Zeitpunkt mit sehr ähnlichen, weil biophysikalischen Fundamentalproblemen herum (die nun allerdings kaum Aufmerksamkeit erregen werden – und auch prompt und ausdrücklich von den Macy-Conferences ferngehalten wurden): einem „detailed quantitative experimental program“ zum Thema „Herzflimmern“ nämlich, und einer ebenso detaillierten, „rigorous description of the time-course of the spike potential“.⁴⁷

Man mag solchen Einschätzungen zustimmen oder nicht, zumindest ist mit ihnen – den technischen Infrastrukturen der Nervenforschung einerseits, den Zwängen kybernetischer Öffentlichkeitsarbeit andererseits – gut umrissen, um was es hier eben nicht gehen soll: Jenen „codes“ und „symbols“, mit denen wir, historiographisch betrachtet, auch zurück wären beim Stichwort ‚Informationsdiskurs‘. Zweifelsohne nämlich stellt sich die Geschichtlichkeit des Nervensystems zur Jahrhundertmitte (wie von weiten Gebieten des Wissens überhaupt), vor allem durch solche Vorgaben dar. Weitaus nachhaltigeren Einfluss auf die historischen Narrative jedenfalls übten, auch (aber nicht nur) in Sachen Nerventätigkeit, die publikumswirksameren Vorfälle und wortlauteren Charaktere; namentlich, der bereits erwähnte Norbert Wiener sowie der kleine Kreis an kybernetischen Gefolgsleuten, wobei hier insbesondere die Namen Warren McCulloch und Walter Pitts zu nennen wären. Deren „Logical Calculus of Ideas Immanent in the Nervous System“ erlangte, unter späteren Geisteswissenschaftlern allzumal, fast schon ikonischen Status (Abbildung 2).⁴⁸

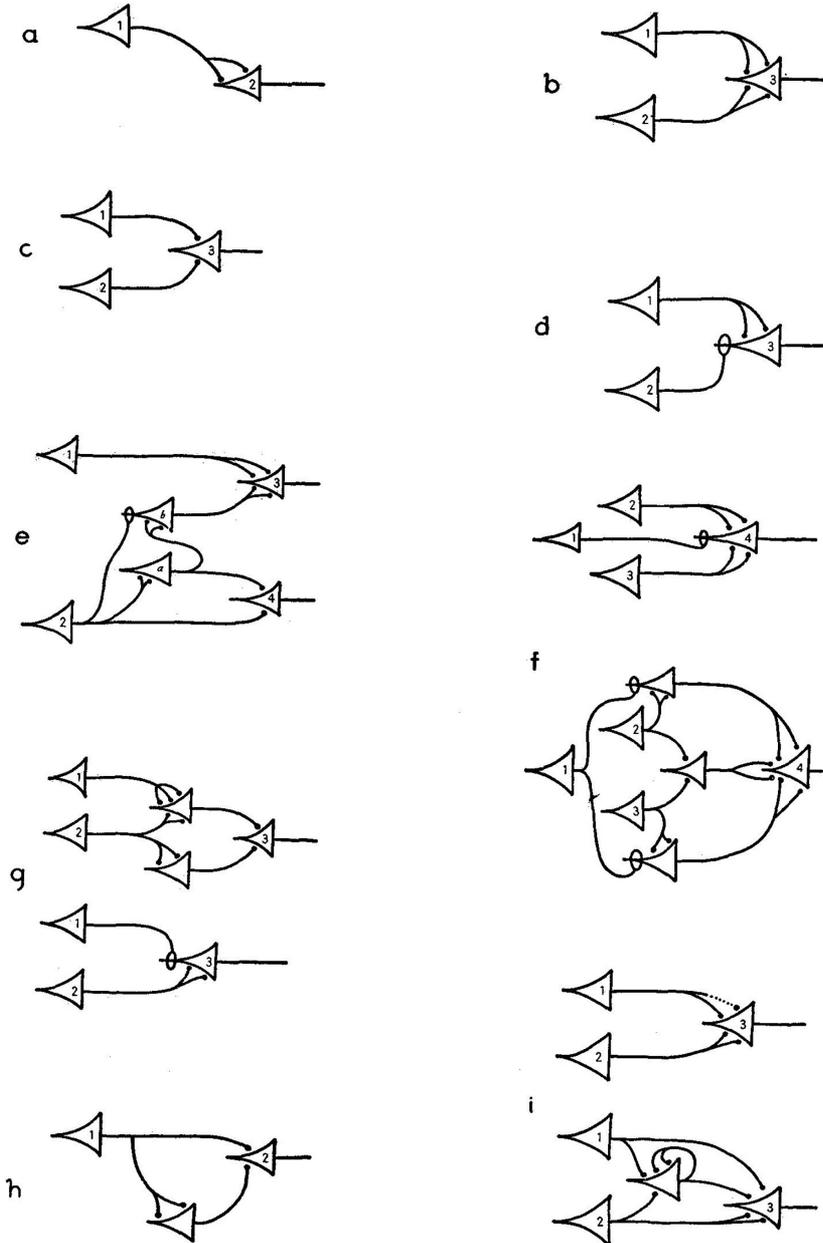


Abbildung 2: Warren McCulloch und Walter Pitts, A logical calculus of ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943), 115–133, hier S. 130.

Hier wurde, wie man dies in zahllosen Studien nachlesen kann, kurzerhand die Nerventätigkeit auf Nullen und Einsen reduziert und, noch besser, zur Denktätigkeit hin geöffnet: *How We Became Posthuman, The Cybernetic Brain, oder Trans-*

formationen des Humanen heißt es dann auch in der Fachliteratur. Ganz anders also als im Falle Hodgkin und Huxleys, wo offensichtlich vom Denken, Gehirn und Geist gar keine Rede sein konnte (geschweige denn vom (Post)Humanen, dem Digitalen, oder der Information). Auch in diesem etwas polemischen Sinne ist hier im Weiteren also von Langeweile die Rede. Denn langweilig war sie zweifelsohne, diese Kriegsgeburt – eben nicht zuletzt für all diejenigen, die mehr erwarteten von der Nervenwissenschaft als Einblick ins biophysikalische Grundgeschehen. Und dazu gehörte nicht nur der oben angeführte J. Z. Young, welcher der BBC als „highly stimulating ... [and] quick, vigorous, imaginative“ aus genau diesem Grund ans Herz gewachsen war („unlike the usual scientist“).⁴⁹

Solche Bedenken hinsichtlich der Massenwirksamkeit der Kybernetik ganz fern des handfesten Wissens sind es jedenfalls, die im Hinterkopf zu behalten wären, wenn wir uns nun also ein klein wenig genauer den Schattenseiten dieses Diskurses und dieser Historiographie zuwenden: Dahin, wo gar nicht so viel geredet, dafür aber umso eifriger ans Werk gegangen wurde. Und dafür waren nicht zuletzt Alan Hodgkin und Andrew Huxley bekannt: 1949 waren sie „already busy trying to find the basic facts“, wie auch Sir Eric Mellanby, der einflussreiche Leiter des Britischen Medical Research Councils, dies wohlwollend feststellte. Auf deren Basis – so Mellanby mit Verweis auf einige „eminent Physiologen“ die lieber nicht genannt werden wollten –, könne man vielleicht sogar einst die „Spekulationen“ kybernetischer Natur tolerieren (und dementsprechend finanziell unterstützen).⁵⁰ Keineswegs soll damit der Irrglaube befördert werden, man könne oder solle hinsichtlich der Geschichte des Nervensystems – nicht immer schon handelt es sich hierbei um das Gehirn – unscheinbare, „basic facts“ und weltbewegende „Spekulation“, Biophysik und Metaphysik, Masse und Massenwirksames, fein säuberlich trennen.⁵¹ Keineswegs. Wohl aber ist mir daran gelegen, Erstere den Letzteren gegenüber ins Gedächtnis zu rufen, und nicht zuletzt angesichts des Gestus des Schwerwiegenden mit dem diese Geschichte immer wieder ins Feld geführt wird, sei es mit Blick auf die vermeintlich all-um-sich-greifenden Neurowissenschaften oder dem Anbruch eines post-humanen Zeitalters der Information.

Nicht also, wie bereits angekündigt, die Produktion dieser „basic facts“ an sich soll uns daher hier weiter interessieren oder deren kleinteiligster, ‚investigative pathway‘, wie man mit Wissenschaftshistoriker Holmes sagen würde, hin zum daraus resultierenden, vollständig gefertigten „Modell“. ⁵² Im Folgenden geht es lediglich um deren (allerdings großangelegte) Vorhaben: jene kriegsbedingte Bedingungen, welche besagtem Neuentwurf des Nervenimpulses die ganz entscheidenden Vorgaben lieferte. Das sogenannte „Modell“ kann, wie bereits erwähnt, kaum als bloßes Werk des Schreibtischdienstes gelten, sondern war ganz zweifelsfrei eine Sache von Fakten; oder besser, von Daten: Ein durch und durch empirisches Produkt der unmittelbaren Nachkriegsjahre und als solches langwieriges Produkt von äußerst zielgerichteter, weil auf Rechenmaschinen abgezielte, Datenproduktion.

„How serious planning of scientific work ought to be done“ erlernten dann auch selbst friedliebende Schweizer post-docs, die nach dem Krieg schon bald wieder nach Cambridge pilgerten.⁵³ Dass es aber überhaupt so weit kam – nämlich, das „action potential problem“ als Rechen-Problem umzudenken und entsprechende Latenzen und Tendenzen der Elektrophysiologie ins Biophysikalisch-Ingenieurmäßige hin zu verstärken –, dies spielte sich ab in dem Raum, der sich öffnete, als Phy-

siologenkarrieren unterbrochen und abgelenkt wurden, dem Kriegsdienst willen. Womit wir also, nach langer Vorrede, wieder beim Thema dieses Aufsatzes angelangt wären: Schreibtischarbeit einerseits, die Materialitäten elektronischen Kriegsalltags andererseits.

2. Datenkrieg

Mit der Welt der funktechnisch aufgerüsteten, experimental-physiologischen Bricolage der Zwischenkriegsjahre hatte der Raum der Radarentwicklung – ein Forschungs- und Produktionsaufwand industriellen Ausmaßes – nur noch wenig gemein. Allein die neue Heimat Alan Hodgkins etwa, bald umgetauft in Telecommunications Research Establishment (und ebenso bald evakuiert ins bombensichere Binnenland), beherbergte an die 900 Ingenieure und Wissenschaftler in 40 Forschungs- und Entwicklungsgruppen, 430 ‚industrials‘, 310 technische Zeichner, und eine ganze Armee von Verwaltern, Hilfskräften und Bediensteten.⁵⁴ „More fruit and a greater variety of puddings“ vermisste man dort genauso wie „*balanced* vegetarian dishes“;⁵⁵ an Sonntagen wurde ohnehin gearbeitet. Platzmangel, verschlammte Straßen, ‚Air-raid precaution‘ Übungen und die allgemeine Hetze taten ihr Übriges um die TRE-Bevölkerung zu zermürben: 4 000 Menschen insgesamt, davon 80 Prozent männlich, und größtenteils unter 35 – „If the radar stations he had known were villages“, sollte Arthur C. Clarke, ebenfalls TRE-Veteran, einen seiner Roman-Helden („Alan“) sprechen lassen, „this was a city“. Und auch für den (fiktionalen) Alan hieß es dort „good-bye to the simple, old-fashioned world of ‚wireless““.⁵⁶

Aber auch diese neue Welt der „unsuspected marvels of radar“, wie es dort weiter hieß, kam nicht von ungefähr. blieb sie wenig bekannt, wie die Fortschritte der (industriellen) Elektrotechnik im Allgemeinen, so lag das auch daran, dass, damals wie einst in der historischen Aufarbeitung, Atombombe und Kernphysik deren Geschichtlichkeit weitgehend überschatteten würde und das Elektronische kaum jemals seiner selbst willen ins Blickfeld rückte; oder bestenfalls indirekt, eben durch die „Pathologien“ einer militarisierten Universitätsphysik oder was sich davon gespiegelt haben mag in den Diskursen der Kybernetik.⁵⁷ Von ‚electronics‘ war spätestens um 1930 die Rede, vor allem in der Industrie und im Umfeld der Ingenieurwissenschaften.⁵⁸ Genauso setzte hier, kaum jedoch in der akademischen Forschung, bereits schon eine intensivere Auseinandersetzung mit Rechenmaschinen ein. Konzepte der Steuerung, Rückkopplung und der (ingenieurmäßigen, design-orientierten) mathematischen Modellierung, sowie jene mikro-physikalischen Dimensionen der Hochfrequenz, welche im Zuge der so konzentrierten wie rasanten Entwicklung und Ausreifung der kriegerischen Radartechnik proliferierten, waren hier jeweils schon angelegt.⁵⁹ Nur in Orten wie Cambridge hatte man davon, zumal als Physiologe, noch wenig Ahnung.

Es war eine Sache der letzten 15 Jahre, so informierte die Zeitschrift *Popular Science* um 1946, dass Vakuumröhren weit abgedriftet wären von deren „original uses in communication to become the valves, triggers, and throttles of modern industry.“ Hier, und endgültig dann mit dem Krieg, so konnte man es dort nachlesen, entpuppten sich die Mikrodimensionen elektrischen Verhaltens „vitally important“ hinsichtlich der „performance“ elektrischen Geräts: „the behavior“, etwa, von „electrons during ... microseconds“ und dasselbige von Wellenlängen „comparable with

the size of the tube“. „No longer“, so das Resümee, „could the tube be considered merely as the electronic component of a circuit composed of conventional inductances, capacitors and resistances.“⁶⁰

Nicht weniger als ein „totally new kind of thinking“ hinsichtlich des elektrischen Geschehens wurde hier reklamiert. Ein Denken, welches dann auch einigen (technophilen) Philosophen nicht lange verborgen blieb, wenn diese in just diesem Zusammenhang nun von der „concrétization“ und „évolution“ des technischen Objekts an sich zu sprechen begannen (ohne sich aber schon näher deren historischen Ursachen zu widmen).⁶¹ Wichtiger hier ist ohnehin, dass es sich nicht zuletzt um die Dissemination und Proliferation solcher Konkretheiten handelte, mit denen – der Rhetorik vom ‚physicists‘ war‘ zum Trotz – zivile Wissenschaftler wie Alan Hodgkin vor allem in Kontakt traten, nicht diese aber schon hervorbrachten.⁶² Überhaupt ging es in diesem Krieg, und um dieses „totally new kind of thinking“ herum, relativ ‚low-tech‘ vonstatten. Um das Bild der elektronischen Langeweile, um welches es hier letztendlich geht, ein klein wenig zu konkretisieren, wäre zunächst wichtig, dass man sich diesen Krieg, obwohl dieser vor allem als Innovationschmiede in die Wissenschaftsgeschichte einging – vom Siegeszug der ‚big science‘ bis hin zu interdisziplinärem ‚team-work‘⁶³ – durchaus als Informationskrieg vorstellen kann, oder sollte.⁶⁴ Allerdings, eben nicht wie dies das Narrativ der kybernetischen Transformation nahelegen würde: Als Geburtsort von „Ontologien des Feindes“ und „cyborg sciences“; sondern, im materiellen Sinne gedacht, und weitaus banaler, als noch nie da gewesene Datenfluten in Bewegung setzende Papiermaschine.

In der Tat hat man in diesem verallgemeinerten – papiertechnischen – Zusammenhang von einem „war of archives“ gesprochen.⁶⁵ War dieser Krieg doch nicht zuletzt ein Krieg der Zahlen, der, wie man weiß (und wenn man das so verallgemeinert sagen darf), ganz maßgeblich von Schreibtischtätern geführt wurde. Um ansatzweise – und zahlenmäßig – zu unterlegen, was hier gemeint ist, halte man sich etwa vor Augen, dass, wiederum in England, zu Beginn dieses vermeintlichen ‚physicists‘ war‘ gerade einmal 4 680 (akademische) Naturwissenschaftler (Physiker, Ingenieurwissenschaftler und vor allem Chemiker) rekrutiert wurden – im Vergleich zu gut 18 000 Statistikern und Buchhaltern.⁶⁶ Der immense Aufwind, den die ‚computer‘ durch den Zweiten Weltkrieg erfuhren, ist bekannt; ebenso, dass es sich hierbei um Unmengen weiblicher Wesen und nicht um vereinzelte Elektronengehirne handelte.⁶⁷ Und nicht zuletzt eben war vieles hier also eine Sache des Althergebrachten, des Bewährten, der Wiederbelebung, und des Neueinsatzes: 40 Millionen Telegramme etwa wurden 1940 allein im Deutschen Reich verschickt – doppelt so viele wie in den Jahren des Vorkriegsjahrzehnts;⁶⁸ eine ganze Reihe von Spezialdisziplinen – von operational research, Logistik, Ostforschung und Area Studies bis hin zu eher klassischen, staatstragenden Aktivitäten wie Wirtschaftsplanung, Meteorologie, Ozeanographie, Vitalstatistik, Ethnographie und Geographie waren fortan nicht zuletzt damit beschäftigt Daten zusammenzuführen, aufzubereiten, darzustellen, zu aktualisieren und zu komprimieren.⁶⁹ Allein das Hydrographic Department der Britischen Marine beispielsweise produzierte nicht weniger als 30 000 000 Karten und Diagramme während dieser Kriegsjahre (verglichen mit gerade mal 3 500 000 in den aufstrebenden 1930er Jahren).⁷⁰

Das Ergebnis solcher Emsigkeit, kurz gesagt, waren Unmengen von Daten, Tabellen, Diagrammen, Blaupausen, Plots und Karten. Deren kommunikationsstrategi-

scher Wert dämmerte damals auch tatsächlich so langsam ins Bewusstsein – und nicht nur in den ‚control rooms‘ sondern auch, und gerade, in den Werkstätten, Hinterzimmern, Klassenräumen und Laboren.⁷¹ „Often the only way of telling somebody else one’s ideas on what one had designed is to make a proper drawing of it“. So stellte sich um 1943 die Soziologie des Wissens dar, hätte man denn einen Radar-Ausbilder gefragt: „This is the language understood ... in the workshops“ und auch die „university men“, so kam man nun schnell überein, sollten sich ihrer nicht mehr entziehen können.⁷² Ähnlich sah es auch der ehemalige Mathematiklehrer Patrick Meredith, neuerdings Direktor des Visual Education Centre, Exeter, und als solcher vertraut mit allerlei (militärischer und ziviler) Informations- und Ausbildungsfragen: „To tell the truth is not enough“, so Meredith, „it must be communicated“, und zwar am besten mit „material presented to the eye“.⁷³ Zu diesen zunehmend standardisierten und reflektiert eingesetzten Verarbeitungs- und Informationsstrategien kamen dann auch eine ganze Reihe neuer Berufssparten: computer girls, copy girls, map girls, tracers, mapping assistants, photo-interpreters und mehr.

In anderen Worten, das Weltbild, um noch einmal auf Heidegger anzuspielden, welches dieser bereits um 1938 beschworen hatte, kam also nicht zuletzt in diesem Konflikt totalen Ausmaßes zu sich selbst, und zwar ganz dingfest und in nie da gewesener Auflösung.⁷⁴ Und obwohl hier ganz bewusst die Tragweite und das Ausmaß dieser Datenflut (und ihrer Bewältigungsmechanismen) herausgestrichen wird, sei vorweggenommen, dass der Zwischenraum innerhalb dessen sich der Nervenimpuls als neu, weil berechenbar darstellt, sich im Speziellen natürlich aus ganz spezifischen Datenmengen und Verarbeitungsverfahren speiste. Im weitesten Sinne verdankten sich diese den Routinen und der materiellen Kultur der Elektrotechnik. Dazu gehörten neben eines – wie nun näher auszuführen ist – tief in den Dingen verankerten „totally new kind of thinking“ ein ganzes Arsenal von schaltdiagrammatischen Prozeduren, Test- und Messmethoden, Modellierungstechniken und Rechenverfahren. Diese bestimmten und zogen sich durch den Alltag derer, die sich um die neuartige Technologie der Funkmesstechnik bemühen mussten. Deren Problem: „Firstly it is necessary to know that something is there, (...) secondly it is necessary to know where there is, with adequate accuracy and continuity; and thirdly, it is necessary to be able to distinguish wanted responses from one another and from unwanted ones, either natural or man-made, with adequate speed and certainty“.⁷⁵ Im Verbund führten die hierfür mobilisierten Kräfte eben aber auch dazu, dass die Welt praktisch-elektrischer Phänomene zu ganz neuen, zeitlich wie räumlichen Mikrodimensionen hin aufgebrochen werden konnte.

3. „Spend[ing] ... night and day with guns and other apparatus“

Handelte es sich beim Radar also nicht zuletzt um ein elektrotechnisches Messproblem unter erschwerten, weil kriegsgehetzten Bedingungen, so ließe sich ganz Ähnliches für die bioelektrischen Erscheinungen behaupten – würden doch auch hier Störquellen ungesicherter Herkunft, gewollte und ungewollte „responses“ und nicht zuletzt der wissenschaftliche Kampf gegen die Zeit – die Kurzlebigkeit des Impulses und die nur allzu rasch verkümmernenden Nervenfasern – ganz maßgeblich mit den Ton angeben. Insbesondere der Nervenimpuls wird sich insofern um die Jahrhundertmitte dann auch alles andere als ein bloßes An/Aus darstellen. Und tappte man,

wie bereits gesehen, 1939 diesbezüglich noch eher im Dunklen, würde sich 1946 dieses Bild schon ganz grundlegend gewandelt haben. Zum Messen war noch keine Zeit – aber bereits so machten sich Radarerlebnisse bemerkbar. Am Ende des Krieges stand der Impuls als Rechenproblem: als Produkt langweiliger Abende am Schreibtisch und getragen von bald ausufernden Datenmengen, welche wiederum ihren Möglichkeitsgrund in der Elektronik finden – von radioaktiven tracer-Methoden hin zu avancierter Schaltungstechnik. Die verbleibenden Seiten seien dementsprechend dieser Wandlung gewidmet; und also auch jener entbehrrungsreichen sechs Jahre, in denen man, wie A.V. Hill das erfreut über den physiologischen Nachwuchs feststellte, „night and day with guns and other apparatus“ verbrachte.⁷⁶ Und war doch, wie schon angekündigt, der Fall Hodgkin/Huxley ganz entschieden kein Einzelfall.

Ganz ähnlich erging es den etwa 40, bald tonangebenden britischen Biologen, die einst Fellow der Royal Society werden sollten oder wenigstens einen Eintrag im *Dictionary of National Biography* für sich ergatterten – und das wäre mehr als die Hälfte dieser renommierten Biologen überhaupt. Der weitaus größere Teil solch verhinderten Biologen allerdings, wir erinnern uns, blieb anonym und, was die Nachwelt angeht, verschollen. Wenn man sie dennoch aufzutreiben versucht, so handelt es sich meist um künftige Laborassistenten, medizinische Physiker, Spezialisten im Gebiet ‚medical electronics‘ und Ähnliches – also gerade diejenigen ‚invisible hands‘, die still und leise dafür sorgten, dass die Biomedizin der Nachkriegszeit ganz allgemein eine technik- und physikinfinzierte war;⁷⁷ weitaus häufiger jedenfalls, als dass es sich immer schon um jene, vom Physiologen und Panzer-Forscher John Bates inszenierten „ex-radar folks with biological leanings“ handeln würde, welche, so weiß man, weitaus sichtbarer unter dem Namen Ratio Club Furore machten. ‚Noise‘ in Gehirnen und Apparaten, das Geheimnis von „pattern recognition“, Gedächtnis, und Denken, und sogar die Telepathie standen in dem oft als britisches Pendant zu den Macy-Conferences gehandeltem Treff kybernetischer Freigeister auf der Tagesordnung.⁷⁸ (Tatsächlich wunderten sich selbst Beteiligte, ob man denn nun einem „social club of no scientific pretensions (though very pleasant for an evening’s speculations about the Universe and All that)“ beigetreten sei.)⁷⁹

Um das eigentliche Ausmaß desjenigen ex-radar Volkes mit „biological leanings“ zu verdeutlichen, welches, obschon Ähnliches durchlebt, nicht zu Worte kam, sprechen dann auch besser die Zahlen. Aus dem Jahr 1940 etwa stammen Schätzungen aus Whitehall, die von einem Mangel von 220 Wissenschaftlern im Bereich der Elektrotechnik ausgehen.⁸⁰ 1941 sind es bereits 460.⁸¹ Und noch eindrucksvoller sieht es eben aus, wenn man ein klein wenig über den Tellerrand der Forschung und Entwicklung hinausblickt: 20 747 sogenanntes „radar maintenance personnel“ vermisst man beispielsweise im selben Jahr, 1941. Dabei war schon einkalkuliert, dass 11 939 junge Männer sich bereits im Einsatz oder, zumindest, in Ausbildung befanden.⁸²

Dass das so war – es also in erster Linie um schiere Zahlen ging –, lag nun, zum einen, ganz in der Natur der Sache. Für die Zwecke des Radarkrieges benötigte man nicht so sehr Freidenker und Forscher-Naturen, sondern, so hieß es nach einem Jahr Kriegserfahrung in einem Memorandum der Royal Air Force, Menschen die fähig wären, Tätigkeiten in den Bereichen „production“, „site-planning“, „installation, line-up and calibration“, „observation“, „interpretation and display“, „analysis“ und „maintenance“ möglichst effektiv durchzuführen.⁸³ Zum anderen lag es einfach daran, dass man eben sehr viele davon brauchte, um diesen Mangel sondergleichen,

diese wissenschaftliche „scarcity category“ – so nämlich fungierte die Elektrotechnik im Beamtenjargon –, abzudecken.⁸⁴ Und angesichts dieser Zahlen entscheidet sich das britische Ministry of Labour dann auch sehr schnell gar nicht mehr nach qualifizierten Fachkräften zu fahnden („trained material“), sondern, schlicht und ergreifend, „to provide the material for training“.⁸⁵ Oder, in den nicht weniger schlichten Worten Charles P. Snows: „to manufacture them“.⁸⁶

C.P. Snow, besser bekannt natürlich als Anstifter der Rede von den ‚two cultures‘, war in der Tat einer derjenigen, die sich ganz besonders hervorgetan haben beim Einleiben aller Vielfalt und dem Abgreifen von radar-fähigem Menschenmaterial. Als ‚civil servant‘ im Ministry of Labour begann Snow – er selbst vorwiegend an den Universitäten – bereits Anfang 1940 nach „suitable boys“ Ausschau zu halten.⁸⁷ Im Schnitt brachte er es auf beträchtliche 650 Studenten pro Kriegsjahr, was immerhin einem Sechstel aller überhaupt eingeschriebenen, männlichen Studenten entsprach. (Dies wiederum entsprach einem Drittel aller Studierender biologischer Fächer).⁸⁸

Weit über Snows persönliche Bemühungen hinaus aber überformte der Bedarf an elektrisch versierten „boys“ aber die akademische Landschaft. Mehrwöchige Intensiv-Sommerkurse gab es ab 1940; Lehrpläne wurden umgestellt, um Studiengängen aller couleure einen „definite radio bias“ zu geben;⁸⁹ trotz deren Kriegswichtigkeit strömten Unmengen an Röhren, Widerständen, Oszilloskopen, Schaltpläne und militärisches „special equipment“ – sogenannte „unit sets“ – an die Universitäten;⁹⁰ das britische Schatzamt, H.M. Treasury, machte im Rahmen des „Radio Bursary Scheme“ hunderttausende von Pfund locker, um die Sache voranzutreiben. Und so finden sich bald an die 12 000 Radar-Novizen den Tatsachen der elektronischen Gerätschaften ausgesetzt, vor allem, an den „technical colleges“ des Landes, wobei sich Ähnliches über Englands Alliierte berichten ließe.

Für eine ‚dichte‘ Beschreibung dieses pädagogischen Großprojekts, welche an dieser Stelle idealerweise zu liefern wäre, fehlt hier der Platz. Allerdings ist es gar nicht so schwer sich auszumalen, wie dieses „business of teaching radio“ (wie es bezeichnenderweise hieß) unter dem Druck der Lage wohl ausgesehen haben mochte.⁹¹ Für theoretische Spielereien jedenfalls war keine Zeit; oder wenig Zeit, wie sich Alan Hodgkins Vorgesetzter Bernard Lovell auch bald prompt beschwerte. Das TRE sei kaum mehr als ein Gehege für „specialists working as automatons ... [not] a facility for thinking“, so lautete es in einem Brief an, wiederum, den Vorgesetzten Lovells vom April 1944: „a place where telephones ring continuously, where one comes in not later than 0900 and leaves not earlier than 1900 hrs. It is, quite rightly, a place where all priorities and interests are centred around next week’s operations.“⁹²

Ein kurzer Blick ins Notizbuch eines TRE Radar-Schülers – jeder Neuankömmling sah sich zunächst eines ganz auf die Bedürfnisse des TRE zugeschnittenen Kurses ausgesetzt – möge solche Bedenken verdeutlichen:⁹³ Hier finden sich etwa Prüfungsfragen wieder, die nicht nur „secret“ waren, sondern vor allem auch auf die eher praktischen Details elektronischer Handlungsfähigkeit abzielten. Etwa: „Draw a circuit diagram of a voltage doubler and explain the action“. „What do you consider to be the operational difficulties of SCR.720?“ Oder auch: „Why is it impractical to use standard types of valves and tuned circuits at centimetre wavelengths?“ Fast schon anatomisch dagegen muten die Diagramme und Zeichnungen an, die viele dieser Seiten zieren: Sie werfen einen zergliedernden Blick in die Feinstrukturen des Geräts – und nicht zuletzt auf solch unscheinbare, aber omnipräsente Dinge wie

Koaxial-Kabel und „transmission lines“. Abbildung 3 etwa zeigt einen Steuerschaltkreis mit dem wunderlichen Namen „Phantastron“, Operationsweise und Stromfluss fein säuberlich und bis ins letzte Detail hinein ausbuchstabiert – die Zusammenführung von Struktur und Funktion dann auch fast, so möchte man meinen, wie in einem Lehrbuch der Physiologie.⁹⁴ Und tatsächlich waren die Blickweise und die „methods of thought“, die hier geschult wurden, dem physiologischen Blick nicht gänzlich fremd (nur exakter); ein Blick immerhin, der sich schon lange an hybride, techno-organische Gebilde aus Gewebe und Messgerät gewöhnt hatte: Schaltprogramme lesen, Wirkweisen verstehen, hieß hier wie da – „along the lines of a physical explanation“ – Elektrisches zu verorten in einem exakt strukturierten Raum, und dessen Propagationen nachzuvollziehen über die sich verzweigenden und wieder zusammenlaufenden Teilelemente des ‚systems‘ hinweg.⁹⁵ 50 Prozent etwa der TRE Initiations-Lehrkurse waren dann auch „circuits &c.“ gewidmet.

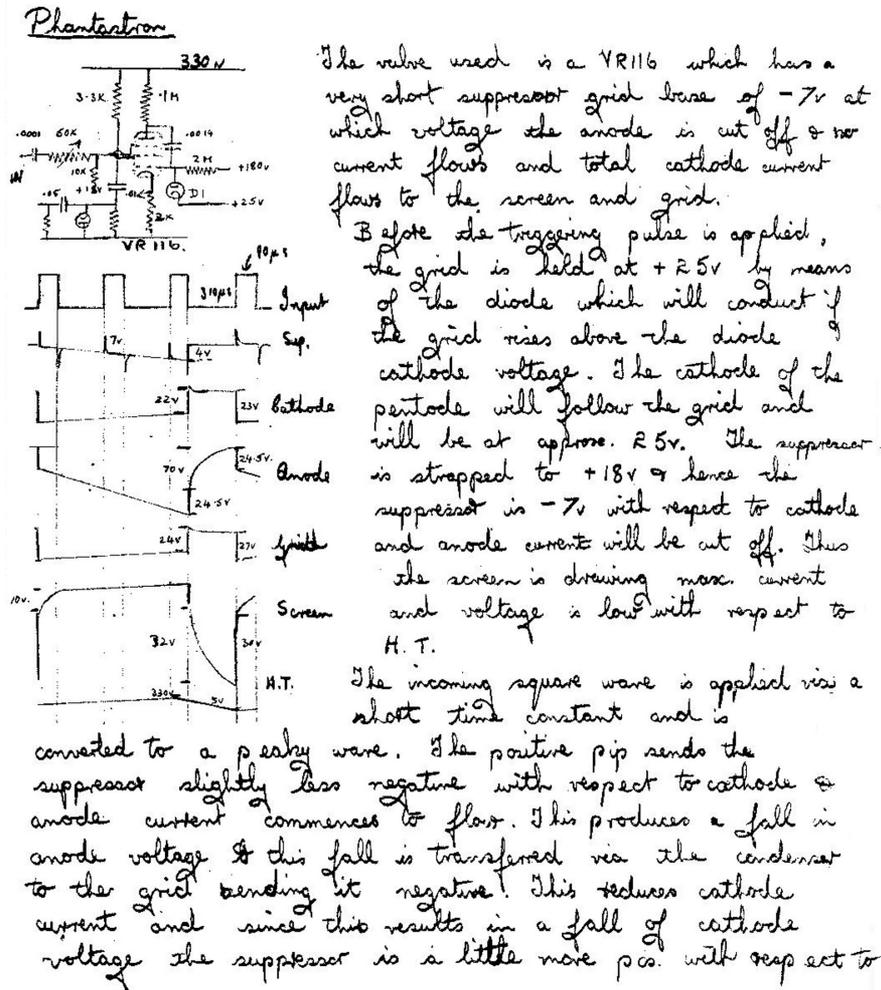


Abbildung 3: ‚Phantastron‘ (circa 1943), Notebook II, papers of private WILKINSON, Imperial War Museum, London.

Man hätte sich also schnell daran gewöhnt, die Dinge und ihr Verhalten auf bestimmte Art und Weise wahrzunehmen, hätte man, wie Alan Hodgkin, nun lange Stunden in den „workshops“ zugebracht oder seine Zeit sich vertrieben in nervenaufreibenden Treffen mit Ingenieuren und ‚industrial‘; vor Ort an den Aerodromes, um Testflugzeuge zu bestücken; oder, in dem Messwagen, in welchem Hodgkin und sein Kollege Bernard Lovell zunächst mit dem optimalen „design“ von sogenannten Hohlleitern – „radar horns“ – sich auseinandersetzen mussten.⁹⁶ Bei letzterer Tätigkeit kam es, trotz des beträchtlichen hierfür notwendigen Formelaufwands, nicht auf abstrakte Physik an, sondern auf die ingenieurmäßige Herstellung – also der Modellierung (oder eben dem „design“) – von elektromagnetischer Strahlung ganz bestimmter Form und Natur (sowie, aus Testgründen, deren Messung). „The principle of models may be made full use of in the design of horn radiators“, hieß es dann auch in der Sekundärliteratur. Und gemeint waren damit solche Prinzipien, die es erlauben würden „to accomplish specific results“ – Theorie im Dienste der Praxis also, kaum dazu geeignet an den Letztursachen zu rühren.⁹⁷ Eine ganz ähnliche, an der schieren „performance“ der Modelle orientierten Mentalität wird sich auch in Sachen Nervenimpuls bemerkbar machen (dazu unten mehr).⁹⁸ (Und allerdings, so möchte man hier bereits spekulieren, mag Hodgkin beim Durchforsten der relevanten Literatur dann doch schmerzhaft Erinnerungen an die Form und Natur der Nervenleitung gehabt haben (siehe Abbildung 4)).

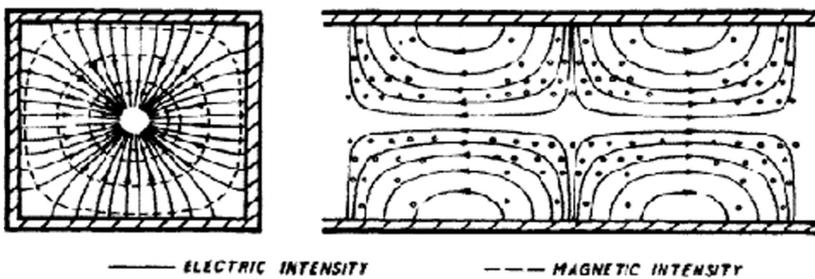


Abbildung 4. „Physically realizable [wave]“. Nach: L.Chu und W.L. Barrow, *Electromagnetic Waves in Hollow Metal Tubes of Rectangular Cross Section*, *Proceedings of the IRE* 26 (1938), 1520–1555, hier S. 1526.

Im Vordergrund des Radaralltags standen jedenfalls, wenig überraschend, praktisches Denken und der praktische Umgang mit Gerät. Oder in den sinnigen Worten John A. Ratcliffes, Radio-Physiker aus Cambridge und Leiter der A.A. Radio School, Petersham: Der „production outlook“ – „what can be made and what can be made most easily“.⁹⁹ Dazu gehörten technisches Zeichnen, Beherrschung der technischen Nomenklatur; eine ordentliche Dosis Ingenieurmathematik (einhergehend mit entsprechender „economy in training time“); und vor allem diejenigen technischen Konzepte und Dinge, die in der praktischen Elektronik unabdingbar waren: Verstärker, Antennen, gepulste Schaltkreise, Hohlleiter, Messtechnik, und ganz einfach, den „equipments“. Kaum hätte man wohl, zumal als „university man“, diesen Dingen unter normalen Umständen sich aussetzen müssen; allerdings, so erklärte stolz der TRE Teaching Panel (dazu erdacht dies zu beheben), erfüllten sie „the atmosphere of TRE“.¹⁰⁰

Als mit Ende des Kriegs diese Materialitäten zu Überschussware – ‚electronic scrap‘ – wurden, würden diese unzähligen, mehr oder weniger unscheinbaren Neuerungen auch die akademische Nachkriegslandschaft nachhaltig überformen. Eine wahrliche Materialflut an elektronischen Altlasten überschwemmte ab 1945 die Labore des Landes, zu Spottpreisen:¹⁰¹

‚Communications Equipment‘ (transmitters, ground transmitters, airborne transmitters, receivers, combined transmitter-receivers), ‚Electrical Meters‘, ‚Miscellaneous Electrical Equipment‘, ‚Radio Test Equipment‘ (Test Set Type 218 ... Type 237A ... 1117 ... Wavemeter Type 1409 ... Oscilloscope Type 11 10SB/562 ... Control Unit ... Signal Generator Type 38 ... Type 47 ... Oscillators ... Amplifying Unit), ‚radio components and equipments‘ (condensers, resistors, potentiometers, switches, valve holders, pentodes, triodes, diodes, tetrodes, rectifiers, control tubes, ray tubes, photo-cells, wire, cables, plugs and sockets).¹⁰²

So lautete ein Auszug aus Alan Hodgkins Bestellungsliste an das Ministry of Supply aus dem Sommer 1946. Und aus dieser Sicht zumindest sollte man also lieber nicht von bloßen (biographischen) Einschnitten sprechen. Denn, ein jemand wie Alan Hodgkin kehrte nie wirklich aus dem kriegsbedingten Doppelleben zurück.

Schenkt man etwa Hodgkins physiologischem Lehrer und Chef, E.D. (Lord) Adrian, Glauben, konnte sich dieser 1953 angesichts solcher Durchdringungen nur noch vage zurückerinnern an Zeiten in denen man – ‚as soon as we were through the door‘ – auch sicher sein konnte im ‚richtigen Labor‘ gelandet zu sein.¹⁰³ Tatsächlich ließe sich zeigen, dass zumindest Hodgkins Nachkriegsleistungen, und insbesondere das Hodgkin-Huxley-Modell des Nervenimpulses, eine neuartige und ganz konkrete Allianz mit dieser diffundierenden ‚material culture‘ der Radarwissenschaften bedeutete, der scheinbaren mathematischen Abgehobenheit dieses Modells zum Trotz.¹⁰⁴ Wie bereits angedeutet, wird man nämlich – sobald das wissenschaftliche Leben weitergeht in Cambridge –, die ‚basic facts‘ der Nervenforschung auf dem letzten Stand der praktischen Elektronik produzieren; oder genauer, man wird, mittels feedback- und elektronischen Differentialschaltung, die real existierende Nervenimpulsquelle gewissermassen in Zeit und Raum anhalten (oder ‚klemmen‘), und somit die eigentliche Impulspropagation entlang der Nervenfasern eliminieren.¹⁰⁵ Das Resultat, als Schaltkreis aufgeschrieben (Abbildung 5), lässt schon vermuten weshalb, stellt es sich doch wesentlich übersichtlicher dar.

Bei dieser Methode, bald als ‚voltage clamp‘ jedem Physiologen ein Begriff, handelte es sich um handgreifliche, elektronisch vermittelte Komplexitätsreduktion.

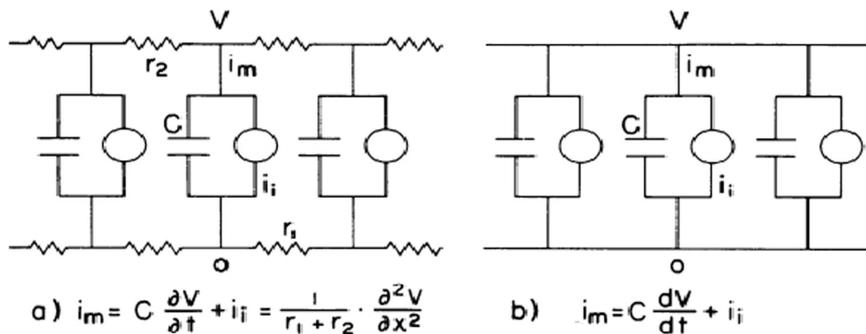


Abbildung 5: nach Kenneth S. Cole, The Advance of Electrical Models for Cells and Axons, *Biophysical Journal* 2 (1962), 101–119, hier S. 111.

Kein Kinderspiel – und kaum verwunderlich also, dass die Cambrider Methoden – „the secret[s] of your circuitry“ – in Kennerkreisen bald von sich Reden machten;¹⁰⁶ „the hottest thing“ der Nachkriegsphysiologie, so erinnerte sich der ebenfalls durch die Radarforschung in die Biologie geschlitterte Seymour Benzer.¹⁰⁷ Wichtiger für unsere Zwecke wäre es aber noch einmal herauszustreichen, dass dieser Eingriff vor allem dem Rechnen zu Liebe geschah. Genauer: Um den einmal angehaltenen und somit simplifizierten Impuls überhaupt – lösbar – mathematischen Rechenverfahren zugänglich zu machen. Denn immer schon mitgedacht war bei diesen Experimenten deren praktische Verrechenbarkeit. Und nicht zuletzt hinsichtlich letzterer würde der Krieg Hodgkin und Huxley gänzlich neuen Horizonten näherbringen.

4. „The sweat of working these things out“¹⁰⁸

Dementsprechend soll diese in die Nachkriegszeit führende Spur hier links liegen gelassen werden, um stattdessen noch einmal zurückzukehren zum Kriegsleben der Biophysiker Hodgkin und Huxley. Dieses, so wissen wir bereits, war so ungewöhnlich nicht. Und zurückgekehrt werden dorthin soll nicht zuletzt, weil die Voraussetzung für dieses wortwörtliche ‚re-engineering‘ der Nervenaktion in eben diesen sechs Jahren sich abzeichnete, in welchen man, wenn denn die Zeit blieb, sich notwendig an Schreibtisch und Papier halten musste. Eine Zeit in der die Berechenbarkeit der Nervenentätigkeit, wie man in Abbildung 6 sehen kann, bestenfalls am Rande des offiziellen Tagwerkes eine Rolle spielen konnte.

Es war, so könnte man es ausdrücken, in dieser Überlagerung von Zahlen und Welt, von numerischen Dingen und Nächten und Tagen, welche mit „guns and other apparatus“ verbraucht wurden, in der sich das ‚Impulsproblem‘ ganz langsam als Rechenproblem entpuppte. All das geschah in einem Raum, in dem man sich, wie gezeigt, tagtäglich und auf ganz praktische Weise mit Schaltdiagrammen, Messreihen und Messgerät, mit Tabellen und Formelkram auseinandersetzen musste. Keineswegs formte oder determinierte hier einfach das eine das andere. Allerdings verschiebt sich die Problemwahrnehmung in diesen Überlagerungen ganz genauso wie die möglichen Lösungsstrategien, so dass am Ende das Bild, das man sich vom Nervenimpuls machen kann, ein fast gänzlich anderes ist. Die Probleme „which are involved in nerve“ würden, so steht spätestens im Februar 1945 fest, „require a differential analyzer or something equivalent.“¹⁰⁹ Vor allem ist man sich also klar, dass man ohne Rechenmaschinen, und vor allem, ohne darauf abzielende Produktion von verrechenbaren Messdaten in Sachen Nervenimpuls nicht mehr viel weiter kommen wird.¹¹⁰ Zu verwickelt waren die Gleichungen, die sich vor Hodgkin und Huxley auszubreiten begannen; zu lückenhaft und zweifelhaft die verfügbare Datenlage. Aber selbst diese Einsichten, so lässt sich näher zeigen, kamen nicht von ungefähr.

Tatsächlich lässt sich die Neuartikulation der Nervenentätigkeit als Berechenbare relativ genau im Schnittfeld von (individueller) Kriegserfahrung, physiologischer Datenanhäufung und breitflächiger Verlagerung des Umgangs mit Zahlenmaterial verorten. Hatte man doch vor dem Krieg, allzumal im universitären Bereich, wenig Interesse an, und noch weniger Erfahrung mit, dem Einsatz von arbeitssparenden, weil maschinellen Rechenverfahren (und der entsprechenden Mathematik).¹¹¹ Im speziellen Fall der Nervenbiophysik war das nicht anders, obwohl hier ohne Zuhilfenahme von Differentialgleichungen schon seit Jahrzehnten nicht mehr interpretiert und ex-

Form _____ W: 58651472 500 pag^s 2/14 W.E. T51-4827

MINISTRY OF AIRCRAFT PRODUCTION | JOB No. _____
 T. R. E. | SHEET No. _____ DATE _____
 | SKETCH FILE No. Z. _____

Message from Dr Cockburn.
 C.C.E. is coming Sunday.
 between 10.30 - 11.0 am.
 Bedford. Freddie Pile.
 if you want to see him.

$$\frac{dK}{dx} + KZ = 0$$

$$\frac{d\alpha}{dx} + \alpha Z = 0$$

$$\frac{dz}{dx} = \alpha - K$$

$$\frac{d(K+\alpha)}{dx} + (K+\alpha)Z = 0$$

$$(K+\alpha)Z + \frac{d(K+\alpha)}{dx} = 0$$

$$\frac{d(K+\alpha)}{dx} = -Z \frac{d(K+\alpha)}{dx}$$

$$\frac{d^2 Z}{dx^2} = 0$$

$$-\frac{1}{Z} \frac{dZ}{dx} = K + \alpha$$

Abbildung 6: Message from Dr. Cockburn (undatiert, circa 1944), lose Notiz in HDGKN C.159, Hodgkin papers, Wren Library, Trinity College, Cambridge.

perimentiert wurde. Dennoch fielen, allem physico-mathematischem Anschein zum Trotz, Empirie und Theorie meist weitklaffend auseinander (zumeist handelte es sich um Anwendungen der physikalischen Chemie), wie sich etwa der Biophysiker Kenneth Cole, Hodgkins elektrotechnisch äußerst versierter Experimentierpartner aus Vorkriegszeit, noch 1941 beklagte: Keine vollständige, quantitative „description“ des Nervenverhaltens – kein „model of nerve behaviour“ – ließ sich ausmachen, lediglich unzählige „phenomenological theories“. Letztere nahmen aber keine Rücksicht auf die messbaren, „physical characteristics of nerve structures ... [or] consider[ed] these properties as undetermined parameters.“¹¹² Mathematisches, so ließe sich diese paraphrasieren, fungierte in der Physiologie als Denkhilfe und Anschauungsmittel, kaum jedoch wurde damit im engeren Sinne ‚gearbeitet‘, wie das – wegweisend – für das Hodgkin-Huxley-Modell der Fall gewesen wäre.¹¹³ Ähnliches

gilt für den noch vorherrschenden Begriff vom mathematischen Modell: Diese existierten, anders als das hier verhandelte Modell, rein illustrativ, nicht aber schon (im Sinne einer Simulation etwa) performativ.¹¹⁴

Kaum auch hätte man wohl, Coles Beschwerde zum Trotz, Veranlassung für ein Umdenken gefunden. Denn, nicht zuletzt hinsichtlich des Nervenverhaltens zeigte sich die Datenlage hinsichtlich dieser ‚physical properties‘ auch 1941 noch als äußerst dürftig. Besonders dürftig, so mussten Hodgkin und Kollegen 1939 im Gefolge des „overshoots“ hochselbst feststellen, sah es um die „ultimate [ionic] composition of biological material“ bestellt aus: Hier fehlten „authorative figures“ – und also das notwendige Rechenmaterial – fast gänzlich, wären aber für jeglich denkbaren Erklärungsansatz von höchstem Interesse gewesen.¹¹⁵

Diese mangelnde Auflösung organischer Welt sollte allerdings bald der Vergangenheit angehören. Noch während des Kriegs nämlich beginnt sich vor allem jenseits des Atlantiks ein weitaus feingliedriges und quantitatives Bild in Bewegung zu setzen – nicht zuletzt Dank der sich immer größerer Beliebtheit erfreuenden Riesena-xone (sowie, ganz allgemein, dem sich beständig intensivierenden Einsatz radioaktiver „tracer“-Methoden).¹¹⁶ 1949 bereits beklagte man sich mit Blick auf die Biophysik erregbarer Gewebe über die in Gang gesetzte, elektrolytische Informationsflut: „a mass of experimental data“.¹¹⁷ Die Bedeutung dieser neuerlichen Unüberschaubarkeit drang nichtsdestoweniger und ganz unmissverständlich in die Labore. War es nämlich noch bis weit in die 1930er Jahren üblich diese Elektrolyte als „Salze“ vor allem von ihren Wirkungen her zu denken – als Giftwirkungen, als Dinge die erregend wirkten, Gewebeswellungen verursachten, oder narkotisierten – ging man nun sehr schnell dazu über, das physiologische Geschehen diesbezüglich in sehr andere Konzepte zu kleiden: Nicht mehr von Giften und Effekten war nunmehr die Rede sondern von Ionen-„fluxes“, „transport“, Permeationsraten und Trägersubstanzen.¹¹⁸

Soviel wäre, in den Grundzügen zumindest, bekannt.¹¹⁹ Über diese neuen physiologischen Horizonte hinaus aber würden sich wissenschaftliche Sensibilitäten in Sachen „Theorie“ nachhaltig neugestalten. Es war Andrew Huxleys Kriegsdienstsvorgesetzter, der Physiker und ‚operational research‘ Pionier Patrick Blackett, der dies nicht ganz zufällig (aber umso dramatischer) auf den Punkt brachte. Nichts anderes als der „Mythos“ der „Autonomie“ theoretischer Wissenschaft stand auf dem Spiel, so notierte Blackett um das Jahr 1944, als er dem Verhältnis von „calculating machines and the object of investigation“ nachdachte. „In the limit“, so spekulierte Blackett, würde die Rechenmaschine wohl zum „model of the object“ selbst.¹²⁰

Wie das John Agar speziell im Falle Englands darstellte, ist der Aufschwung, den maschinelle Datenverarbeitungs- und Rechenverfahren durch den Krieg erfuhren, tatsächlich ganz immens.¹²¹ Und folgt man Blackett, findet mit der ausgreifenden Vertrautheit von solchen Maschinen das Rechnen, kaum darauf beschränkt nur für Arbeiterleichterung zu sorgen, selbst Eingang in das Objekt des Wissens. Allzumal ist das der Fall für das Modell der Nervenaktion, um welches es sich hier dreht. Mit Rechenmaschinen, namentlich der Marke Brunsviga, hatte während der Jahre 1940–1946 dann nicht zuletzt auch Hodgkins einstiger und zukünftiger Partner Andrew Huxley zu schaffen; so sehr sogar, dass er bei Kriegsende der Rockefeller Foundation vor allem als „good applied mathematician“ gilt: „An authority, despite his years, on how to bombard.“¹²² Und auch das nicht von ungefähr: Nachdem Huxley 1940 sein

Studium der Physiologie im Schnelldurchlauf (und mit besonderer, kriegsbedingter Emphase auf die Physik) beendete, verschwendete Huxley einen Großteil seiner Energien mit der so langwierigen wie rechenintensiven Aufgabe Geschosstrajektorien für die Radarforschungsabteilung der Marine zu berechnen. Während Hodgkin also sich um das ‚design‘ elektromagnetischer „patterns“ bemüht, traktiert Huxley ballistische Differentialgleichungen und deren diverse (empirische) Parameter: „gun elevation“, „muzzle velocity“, „wind velocity“ und mehr. Um einen Eindruck zu vermitteln: Nur um eine einzige Trajektorie zu errechnen, waren damals etwa zwei Tage Rechenarbeit an der Rechenmaschine zu veranschlagen; eine vollständige „firing“ Tabelle wiederum bestand aus mehreren hundert solcher Trajektorien.¹²³ Und auch das sollte nicht ohne Folgen bleiben, handelte es sich bei der „overshoot“ Problematik doch allerdings um einen ähnlich komplexen – weil nicht-linearen –, und also schlecht berechenbaren Sachverhalt (mehr dazu in Kürze).

Wie dem auch sei, auch Huxley beginnt während „odd times“ ganz nebenbei die alten Vorkriegs-Nervendaten zu beackern – wenn er nicht, soll das heißen, mit Hilfe der Krücken angewandter Mathematik – Rechenmaschinen, Lösungstabellen, und numerischen Nähungsverfahren Geschosstrajektorien – berechnet.¹²⁴ Denn in der Tat stellen sich Erstere nur allzu bald als „very laborious“ heraus; dass Letztere in solchen Fällen Abhilfe schaffen, weiß Huxley wiederum aus der monotonen Erfahrung. Und so vermeldet Huxley des Öfteren an Hodgkin, dass, obzwar es „tantaling“ wäre – quälend –, seine mühsamen Kalkulationen die (Nerven) Messkurven immer besser reproduzieren: „it makes an enormous difference to the sweat of working these things out“.¹²⁵

Die vom Krieg verbreitenden Rechenpraktiken, so ließe sich genauer zeigen, brechen also auch relativ direkt in die Handhabung der Nervenproblematik ein. Die numerischen Methoden eines Douglas Hartree etwa – verbreitet durch den seit 1942 von Hartree geleiteten (und von Huxley frequentierten) „inter-service“ Servo Panel – finden sich auch wieder in den vielen Vereinfachungen, Teilgleichungen und Transformationen, welche einst den Weg zum Modell vom Nervenimpuls pflastern sollten.¹²⁶ Die Parametrisierung der bereits erwähnten drei Ionenstromkomponenten per „dimensionslose“ Größen beispielsweise motivierte sich fast durchweg durch solche Vorgaben – Berechenbarkeit.¹²⁷ Man wäre geneigt „to be appalled ... by the formidable empiricism of the formulation“, kommentierte dann selbst Kenneth Cole solche Maßnahmen – hätten sie nicht so wunderbar ihren Zweck erfüllt.¹²⁸ Wichtig war dies alles aber nicht zuletzt insofern hier nun überhaupt Auswege aufgezeigt – und gesehen – wurden. Weit über die angewandte Mathematik im engeren Sinn hinaus war Huxley – als zeitweiliger „operational researcher“ – ganz außergewöhnlich gut positioniert sich in den um sich greifenden Zahlendickichten noch zurechtzufinden. War jene neue Spezialdisziplin namens ‚operational research‘ eben nicht zuletzt, wie dies vor allem Will Thomas betont hat, praktisches Handwerk;¹²⁹ weit mehr, jedenfalls, als deren Ruf als abstrakte Modellwissenschaft naheulegen scheint.

Die Betonung auf das fundamental Bodenständige dieser Datenproduktions- und -verarbeitungsstrategien zu legen, ist vor allem deswegen bedeutsam, weil hier besser noch als durch den Einsatz von schlichten Brunsvigas deutlich wird, dass der von Blackett visionierte Umbruch umrandet war von ganz mondänen Praktiken der Handhabung, Generierung, Darstellung und Verarbeitung von Zahlenmaterial: Testen, verbessern, kalibrieren, veranschaulichen, Überblick-verschaffen, In-Bezie-

hung-und-Zusammenhang-setzen – diese Tätigkeiten gehörten zum täglichen (und nächtlichen) Brot dieser Kriegswissenschaft. Blacketts methodologische Instruktionen für den „Novizen“, 1943 verfasst, brachten diesen handwerklichen Charakter konzentriert auf den Punkt: Zum letztendlichen, vorrangigen Ziel und Zweck „practical conclusions“ zu ziehen – sowie einer überzeugenden, „suitable presentation of the actual facts“ – war es zuerst nötig, so Blackett, so viele Daten wie möglich zu sammeln (und zwar, versteht sich, so quantitativ wie möglich). Im zweiten Schritt erfolgte die Umformung in ein „numerical picture“ („in the form perhaps of tables or curves“). Erst im dritten machte man sich per Approximationsverfahren und „trial and error“ Gedanken über Gleichungen welche jene „actual facts“ mit den jeweiligen „operations“ verknüpfen sollten, und zwar auf lösbare Art und Weise – von analytischen, „a priori“ Ansätzen solle man dementsprechend Abstand halten. Wenn überhaupt, warnte Blackett, wäre letzterer Luxus allenfalls „in times of peace“ denkbar.¹³⁰

Lösbarkeit, Machbarkeit, Anschaulichkeit: So lauteten, wenn man so will, die „epistemic virtues“ dieser Tätigkeiten und Jahre.¹³¹ Alan Hodgkin war nichts anderem ausgesetzt, wenn er, wie das oft geschah, sich die Zeit mit „almost continuous travelling“ und „troublesome meetings“ vertreiben musste, um (Graus aller Wissenschaftler) TRE Prototypen an Industrie und Militärs zu „verkaufen“ („All this is rather exhausting and leaves you with the unsatisfactory feeling of doing nothing except talk and travel.“);¹³² oder, wenn er zusammen mit Bernard Lovell, eben jene „radar horns“ modellierte, welche als Radarantennen Einsatz finden sollten.

Nicht aber lautet das Argument, dass sich letztere Problematik, die Frage nach dem Nervenimpuls, ganz einfach und explizit aus den Radarwissenschaften ableiten ließe. Wie sich im Detail diese Praktiken im Hodgkin-Huxley-Modell des Nervenimpulses wiederfinden lassen werden, sei noch einmal betont, spielt hier gar keine so große Rolle. Zwar tun sie es auf vielfältige Weise – anfangen von den numerischen Näherungsverfahren, die zum Einsatz kommen werden, über die speziellen „circuits“ und Messmethoden, hin zur absorbierten Ingenieurmentalität und Hodgkin und Huxleys experimentell-theoretische Synthese, welche nicht ganz zufällig die Prinzipien der ‚operational researches‘ in Erinnerung rufen. Als saison-abhängiger Artikel ließ das Tintenfishaxon allerdings auch gar nichts anderes zu: Daten sammeln (experimentieren) im Sommer und Herbst (Plymouth/Küste); analysieren und rechnen im Winter und Frühjahr (Binnenland/Cambridge). Noch einmal also, um Missverständnissen vorzubeugen: Hier geht es nicht darum, den Krieg zur Allursache zu erklären; und noch weniger, den Nervenimpuls auf diesen zu reduzieren.¹³³ Der Punkt, sei in Erinnerung gerufen, wäre jenes andere, wenig spektakuläre Bild des Radarkrieges und dessen Auswirkungen, welches sich hier ganz genauso abzeichnet: Das biophysikalische Impulsproblem war nicht die Radarforschung en miniature und Letztere nicht, zumindest nicht in erster Linie, die futuristischen Technologien und Gedankengänge die im Ratio Club und anderswo – „speculations about the Universe and All that“ – durchaus zum Tragen gekommen mögen sein.

Schon eher käme es darauf an, mit Blick auf die Geschichte der Nervenaktivität, dieses ganz praktische, rechenmäßige Umdenken und Umgehen-mit als Element und Symptom einer ganz breitschichtigen, so pragmatisch wie Daten-getriebenen Reartikulation des Verhältnisses von Empirie und Theorie zu lesen; und grundsätzlicher noch, als Sache der Dinglichkeit von Zahlenmaterial und dessen Handhabung.

Dezidiert fand diese Auseinandersetzung statt während jener „wasted evenings“ und „odd times“, welche Hodgkin und Huxley explizit dem „action-potential problem“ widmen konnten; weniger unmittelbar, aber umso nachhaltiger, in den oben skizzierten, alltäglichen Überlagerungen von Zahlen, Diagrammen und Welt. Soviel lässt sich sagen, auch wenn die erhaltenen Dokumente und Briefe keineswegs erlauben, Schritt für Schritt diese zu rekonstruieren. Was sich davon sehr wohl ablesen lässt, ist allerdings das allmähliche Überhandnehmen elektrotechnischen Gedankenguts in deren Operationen. Bewegen sich Letztere zunächst noch ganz im Rahmen der hergebrachten, physikalischen Physiologie – Konzentrationsänderungen und dergleichen – führt der rechnerische Weg immer öfter zu Transportraten, Ionenströmen, und deren womöglicher Trägersubstanzen. Gleichzeitig nimmt die Dringlichkeit ab, die Dinge im Sinne eines Mechanismus zu erklären; man beschränkt sich auf eine möglichst exakte „performance“ – die akkurate Reproduktion der Daten durch das Modell.¹³⁴

Aus dieser Sicht artikulierte das Hodgkin-Huxley-Modell aber nicht zuletzt, und nicht mehr, als eine höher aufgelöste, quantitativere Welt; oder anders gesagt, eine veränderte Datenlage. Deutlich werden würden diese neuen Horizonte eben auch, und gerade, am Problem des Nervenimpulses oder genauer, an dessen nicht-linearem Verhalten. Niemand anderes als Hodgkin und Huxley selbst, so wissen wir bereits, hatten noch im August 1939, also unmittelbar vor Kriegsausbruch, beim Versuch eine Messelektrode in das Riesenaxon des Tintenfisches einzuführen, ein etwas anomales Verhalten des Nervenaktionspotentials bemerkt. Es war dieses – der „overshoot“ –, das alsbald als „nicht-linear“ neuklassifiziert werden sollte (womit zwei-felsohne konzeptionelles Neuland betreten wurde).

Im konkreten Fall des Nervenimpulses zeigte sich jenes nicht-lineare Verhalten vereinfacht ausgedrückt daran, dass die Potentialentwicklung beim Impuls alles andere als linear zum Stromfluss durch die Zellmembran verlief; wenn denn nur, soll das heißen, intrazellulär gemessen wurde, also durch diese Membran hindurch. Die Erklärungsansätze und Gleichungen, welche diese Messkurven auf den Plan riefen, waren dementsprechend kompliziert und allemal „puzzling“, wie Hodgkin des Öfteren stöhnte.¹³⁵ Hodgkins einstiger Co-Experimentator Kenneth Cole, der auf amerikanischer Seite die Impulsproblematik grundlegend vorantrieb (und seinerseits als Mitarbeiter im Chicagoer MetLab einen vierjährigen, nervenphysiologischen „black out“ erlebte), sah sich gar gezwungen hinsichtlich dieser „rather formidable mathematical problems“ bei den Mathematikern am Institute for Advanced Studies, Princeton, um Rat zu fragen.¹³⁶ Schnell war jedenfalls klar, dass es sich bei der Umkehrung des Nervenpotentials (beziehungsweise dessen wahrscheinlichem Ursachenerd, der Nervenmembran) um kein simples, „lineares“ Schaltkreiselement handeln könne.¹³⁷ Und ebenso schnell würden sich in kürzester Zeit eine ganze Reihe solch elektrisch-anomal sich verhaltender Objekte auftreiben lassen – sogenannte nicht-lineare Widerstandselemente. Von denen schien es nur so zu wimmeln in den Umwelten der Jahrhundertmitte – war denn einmal der Blick dafür geschärft. Dazu gehörten, wie dies Cole 1941 zusammenfasste: piezoelektrische Kristalle, Gleichrichter, spezielle Vakuumröhren, wie der kürzlich von den Bell Laboratories entwickelte „Western Electric 1-A Thermistor“; aber auch Cellophan-Folien, Glasfilterscheiben, Ionenseparatoren oder die Magenschleimhaut des Frosches.¹³⁸ Von allen Seiten begann sich das „puzzle“ des Nervenpotentialverhaltens zu lichten. Noch einmal also:

Nicht zuletzt waren es die zahlenbehafteten Dinglichkeiten elektrotechnischer Umwelten – der Lebenswelten verhandelter Biologen wie Hodgkin – inmitten derer der Nervenimpuls als Rechenproblem sich zu zeigen gab.

Schluss

Dieses Rätsel jedenfalls, das was und weshalb dieses Überschusses, war der etwas trockene, um nicht zu sagen, langweilige Stoff, der die Nervenbiophysik in diesen Jahren antrieb. Es mag also nicht verwundern, dass deren Fortschritte – und an erste Stelle das bald als solches gerühmte Hodgkin-Huxley-Modell – weder die sensationshungrige Mitwelt noch die kybernetikbegeisterte Nachwelt beeindruckten. Und dennoch bliebe festzuhalten, dass sich genau hier, in dieser eher stillen Tätigkeit, in der Nähe zur elektronischen Dingwelt und abseits der Diskurse von Gehirn, Geist und Maschine, sich auf ganz praktische Weise der Mainstream von technophilen Nervenforschern ausbildete. Von hier aus rührte das handwerkliche Rüstzeug des Nervenforschers. Wir erinnern uns: „it was like giving a Nobel Prize for Literature to people who had advanced knowledge of typewriters, of ink, or perhaps of radio transmission.“

Die Auflösung dieses nicht-linearen Rätsels war dann auch in der Tat eine Sache nicht nur abstrakter Denktätigkeit, sondern, wie bereits angedeutet, eine Sache der Einführung von Theorie, laborösester Rechenarbeit, und elektrotechnischem ‚re-engineering‘ der Nervenaktivität. Berechnung, Beschreibung und experimentelle Intervention (Datenproduktion) wurden hier gewissermaßen eins.¹³⁹ Nicht dass man sich mit dem resultierenden „ionic merry-go-round“ nur Freunde gemacht hätte;¹⁴⁰ aber der Großteil der Nachkriegsphysiologen hätte dem seinerseits von Kriegshandlungen fast gänzlich unberührt gebliebenen John Eccles eben sehr wohl zugestimmt, wenn dieser nun schrieb, er wäre, dank Hodgkin und Huxley, „more than ever convinced of the necessity of mathematics for physiology“.¹⁴¹ „Nice stuff“, schrieb etwa Ralph Waldo Gerard.¹⁴² Und wirklich, oder so habe ich das ferner zu zeigen versucht, war diese mathematisierende Auflösung nicht zuletzt ein durch und durch stoffliches Produkt dieser materiellen Umwelten selbst; oder genauer, deren Auflösung in mikroelektrische Dimensionen. Besonders zu erwähnen wären hier, neben dem Handhaben-Können von komplexen Schaltkreisen und elektronischem Gerät, auch noch einmal die radioaktiven ‚tracer‘ und die dazu gehörenden, elektronischen Messmethoden, welche es in der Physiologie nicht nur ermöglichten, die Bewegungen von Ionen innerhalb von Zellen und Geweben zu verfolgen, sondern ganz allgemein, und relativ zügig, ein vor allem datengetriebenes Umdenken herbeizwangen in punkto Elektrolyte.¹⁴³

Dieses Umdenken zeigte sich, wie gesehen, wegweisend im „Modell“ welches Hodgkin und Huxley (mit der tatkräftigen Unterstützung von Bernard Katz) gemeinsam fabrizierten. Dieses entwarf den Nervenimpuls dann auch nicht als binäres Signal, sondern bedeutete dessen Zerlegung in ein komplexes, zeitliches Gefüge von Membranströmen – speziell, einem Gefüge aus Kalium-, Natrium- und Chlorströmen – durch die Zellmembran hindurch. Dies war das eine. Zum Zweiten aber rührte diese (höhere) Auflösung aber dann daher, dass man, wie hier argumentiert wurde, diesen neuen Dimensionen und der damit einhergehenden gesteigerten Komplexität überhaupt rechentechnisch Herr werden konnte. Dazu gehörten ganz zent-

ral jene Verfahren der angewandten Mathematik, mit denen auch Alan Hodgkin und Andrew Huxley, wie gesehen, sehr ausgiebig Erfahrung machen mussten: Approximations- und Iterationsverfahren vor allem; aber auch zirkulierende Lösungstabellen, Parametrisierungsroutinen, graphische Darstellungspraktiken, der Einsatz und Umgang mit Rechenmaschinen.

Und noch einmal sei betont, dass es sich hierbei kaum jemals um fundamentale Neuerungen handelte, sondern vielmehr, um die Proliferation, Verbreitung und notgedrungene Akzeptanz solcher Methoden: Von Methoden, die bis dato vor allem in der Welt akademischer Forschung kaum Platz gefunden hatten; und im weiteren Sinne, von Methoden, die angesichts dieses „war of archives“ eben in alle Winkel und Ecken drangen, um die Datenmassen in Bewegung zu setzen, und mehr noch, um sie zu kontrollieren. Es ging also, so zumindest lautete die Behauptung, in erster Linie nicht, zumal in der Praxis der Nervenforschung, um die neuartigen digitalen Computer, die elektronischen Gehirne, und dergleichen, die man hier gerne als Zäsur anführen würde; sondern: Um recht mühseliges Handwerk; und ferner, um die Langeweile, welche die Doppelleben und Umwelten, die hier zur Debatte standen, insofern auszeichnete. Soll heißen: Nicht schon allein die materiellen, elektronischen Umwelten oder die Rechenmaschinen bewirkten die Verschiebung der Nervenprobleme hin zum Angewandt-Mathematischen, sondern auch die notwendige Abstinenz von der empirischen Forschung: Sechs Jahre am Schreibtisch.

Nicht aber – und auch das erklärt mein Herumreiten auf dem Wort Langeweile – sollte hier, was die Wissenschaft von den Nerven angeht, der Radarkrieg als Letzt-Ursache und allmächtiger Erklärungsgrund angeführt werden. Wie bereits erwähnt, sind die nervenzehrenden Biologenschicksale, die dabei zum Tragen kamen, vor allem dazu geeignet das techno-futuristische Bild dieses Weltkrieges, welches implizit oder explizit als Rahmenerzählung zu fungieren pflegt, wenn Informationsdiskurs, Cyborgs, oder Kybernetik als historische Zäsur ins Spiel gebracht werden, ein klein wenig auf die Füße zu stellen. Das implizit techno-futuristische Bild von der Jahrhundertmitte jedenfalls, und im Speziellen, dasjenige vom Radarkrieg als Geburtsort eines alles überformenden Informationsdiskurses und Zäsur ohnegleichen, scheint diesen historischen Realitäten und Banalitäten nicht ganz gerecht zu werden. Anders gesagt, dieses Bild ist nichts, was einfach als Rahmenerzählung fungieren dürfte, oder sollte – sei es mit Blick auf die Geschichte des Nervensystems, der Biologie, oder der Technik. Dieser Krieg, als die Unterbrechung und Einschnitt der er sicherlich war, war eben auch, und nicht zuletzt, ein Raum der Langeweile – in jeglichem Sinne des Wortes.

1 Dieser Beitrag ist entstanden aus einem Vortrag beim Workshop „Zwischenräume“ am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, im Juli 2010. Dank geht an die Teilnehmer sowie an David Edgerton, Nils Güttler und Andrew Mendelsohn für das hilfreiche Lesen früherer Versionen dieses Aufsatzes. Bedanken möchte ich mich auch bei Hans-Jörg Rheinberger für die Zeit am Max-Planck-Institut während dieser Aufsatz Form annahm.

2 Alan Hodgkin, Brief an Mutter, undatiert (März 1940), Hodgkin papers (im Folgenden HDGKN), HDGKN A.144, Wren Library, Trinity College, Cambridge.

3 Zur Physiologie in Cambridge siehe Gerald Geison, *Michael Foster and the Cambridge School of Physiology: The Scientific Enterprise in Late Victorian Society*, Princeton: Princeton University Press 1978; Mark Weatherall, *Gentlemen, Scientists and Doctors: Medicine at Cambridge 1800–1940*, Cambridge: Cambridge University Press 2000.

4 A. Hodgkin, Brief an Mutter, 23. August 1939, HDGKN A.142.

- 5 Frederick N.L. Poynter (Hrsg.), *The History and Philosophy of Knowledge of the Brain and Its Functions*, Oxford: Blackwell 1957, S. 248.
- 6 Siehe etwa Johann D. Achelis, Kritische Bemerkungen zur Chronaxiebestimmung am Menschen, *Zeitschrift für Neurologie* 130 (1933), 227–247, hier S. 233; William A. H. Rushton, A physical analysis of the relation between threshold and interpolar length in the electric excitation of medullated nerve, *Journal of Physiology* 82 (1934), 332–352, hier S. 483; Hans Schaefer, Neuere Untersuchungen ueber den Nervenaktionsstrom, *Ergebnisse der Physiologie* 36 (1934), 151–248, hier S. 165.
- 7 Siehe auch Alan Hodgkin, *Chance and Design: Reminiscences of Science in Peace and War*, Cambridge: Cambridge University Press 1992.
- 8 Zu diesem Zweck wird hier, neben diversen Archivmaterialien zum Radarkrieg (vorwiegend aus den UK National Archives und dem Imperial War Museum, London), v.a. Hodgkins sehr reichhaltiger Nachlass verwertet. Letzterer umfasst, die Kriegsjahre betreffend, einen fast wöchentlichen Briefverkehr mit dessen Mutter, Notizhefte, Tagebücher, Aufzeichnungen und dergleichen – und erlaubt somit einen ungewöhnlich detaillierten und intimen Einblick in dessen Kriegsaltag.
- 9 Hodgkin, Brief an Mutter, undatiert (ca. Herbst 1939), HDGKN A.143.
- 10 Zitiert sind: Hodgkin, Briefe an Mutter, undatiert (1940), HDGKN A.144; 6. Oktober 1940, HDGKN A.145; 29. Januar 1941, HDGKN A.146; 19. Januar 1943. (Dem Lesefluss zuliebe sind hier und im Folgenden englischsprachige Quellen teilweise übersetzt.)
- 11 Wohl aber wird behauptet, dass dieser Krieg sich unter Umständen – im Sinne obiger Ausmalungen nämlich –, als nicht besonders erfüllend erlebte. In der engeren, auf Hodgkin und Huxleys Fall gemünzten Lesart, soll mit ‚Langeweile‘ hier im Weiteren dann auch lediglich unterstrichen werden, wie sehr es gerade die Phasen des Nichtstuns und Nichtstunkönnens waren – innerhalb deren Kriegserfahrungen wohlgerne –, welche das Wissen um die Nervenaktion beförderten.
- 12 Klarerweise wird hier mit ‚Langeweile‘ also nicht unter strenger Bezugnahme auf eine ‚actors‘ category‘ argumentiert; noch geht es um reine Wortspielerei. Schon eher, wie im Weiteren deutlich werden sollte, wird gewertet (und etwas moralisiert) – und das ‚Langweilige‘ ausgespielt gegen das historisch vermeintlich Bedeutsame und insofern – nach gut bildungsbürgerlichen Maßstäben – ‚Spannende‘. Gemeint ist damit nicht zuletzt der schwer sich zu entziehende Effekt von Relevanz, den ein (wissenschaftsgeschichtlicher) Text unweigerlich erfährt, schafft er es nur mit den großen Themen der Kunst, Literatur und Philosophie sich zu verbünden. Auch der damit einhergehenden, historischen Ästhetisierung von Wissenschaft soll hier – exemplarisch am Fall der Verstrickungen von Biologie und praktischer Physik – ein Gegenbild vorgehalten werden. Ich danke meinen anonymen Gutachtern für den Hinweis auf Klärungsbedarf diesbezüglich.
- 13 Vgl. Norbert Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Paris: Hermann & Cie Editeurs 1948; sowie ders., *The Human Use of Human Beings*, Cambridge/MA: The Riverside Press 1950; SPIEGEL-Gespräch mit Martin Heidegger: Der Philosoph und das Dritte Reich, *Der Spiegel* 23 (1976); ähnlich bedeutungsschwanger sah es etwa Bruce Mazlishs *The Fourth Discontinuity*, *Technology and Culture* 8 (1967), 1–15. Natürlich aber erfreut sich die Figur einer cybernetischen „discontinuity“ in Wissenschaftsgeschichte und Medientheorie vor allem in jüngerer Zeit großer Beliebtheit. Im hier anvisiertem Sinne wären an dieser Stelle dann auch zu nennen (u. a.): Peter Galison, *The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision*, *Critical Inquiry* 21 (1994), 228–266; Andrew Pickering, *Cyborg History and the World War II Regime*, *Perspectives on Science* 3 (1995), 1–48; Paul Edwards, *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge/MA: MIT Press 1997; Kathrin Hayles, *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*, Chicago: University of Chicago Press 1999; Klaus Pias (Hrsg.), *Cybernetics – Kybernetik. The Macy-Conferences 1946–1953. Volume II / Band II: Essays and Documents*, Berlin: Diaphanes 2004; Michael Hagner und Erich Hörl (Hrsg.), *Die Transformation des Humanen: Beiträge zur Kulturgeschichte der Kybernetik*, Frankfurt/Main: Suhrkamp 2008; Andrew Pickering, *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*, Chicago: Chicago University Press 2010.
- 14 Samuel A. Talbot, ‚Bio-physics in Europe‘ (Air Research and Development Command, Report April 1957), Kopie in Francis O. Schmitt papers, Box 21, Folder 10, MC 154, MIT Archives, Cambridge/MA. Dass die Kybernetik eher eine Form von Feierabendwissenschaft war, mag dabei als Allgemeinplatz gelten; kaum jedoch haben sich Historiker bislang an den jeweiligen Disziplinengeschichten der Nachkriegsjahre versucht, an denen jegliche Rede von Einfluss und Umsturz, sei es durch Kybernetik oder Biophysik, ja zu messen wäre. Aus Platzgründen kann hier allerdings nicht genauer auf den disziplinären Konservatismus eingegangen werden, welcher auch in den Nachkriegsjahren, zumal an den

- Universitäten, waltete – trotz, wohlgermerkt, des historiographischen Gemeinwissens, dass Organisationsformen wie Teamwork oder Interdisziplinarität zuletzt mit dem Zweiten Weltkrieg – Stichwort Manhattan Projekt – ins Leben gerufen wurden. Vgl. hierzu insbesondere Duncan Wilson und Gaël Lancelot, Making way for molecular biology: institutionalizing and managing reform of biological science in a UK university during the 1980s and 1990s, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 39 (2008), 93–108; Nicolas Rasmussen, Of ‚Small Men‘, Big Science and Big-ger Business: The Second World War and Biomedical Research in the United States, *Minerva* 40 (2004), 115–146; Max Stadler, *The ‚Randall Incident‘ revisited: The politics of borderlines and the early history of British post-war biophysics* (unver. MSc Thesis, Imperial College London, 2006).
- 15 Siehe dazu insb. Soraya de Chadarevian, *Designs for Life: Molecular Biology after World War II*, Cambridge: Cambridge University Press 2002; Adam Lawrence, *An ecological study of predation between aircraft, U-boats and ships*, unver. Manuskript (2007) (mit Dank an den Autor); Phil Husbands und Owen Holland, The Ratio Club: A Hub of British Cybernetics, in: Phil Husbands, Michael Wheeler, and Owen Holland (Hrsgg.), *The mechanical mind in history*, Cambridge/MA: MIT Press 2008, S. 91–148.
- 16 Im engeren (physiologie-geschichtlichen) Sinne, siehe etwa Jean P. Dupuy, *The mechanization of the mind: on the origins of cognitive science*, Princeton: Princeton University Press 2000; Lily E. Kay, From Logical Neurons to Poetic Embodiments of Mind: Warren S. McCulloch’s Project in Neuroscience, *Science in Context* 14 (2001), 591–614; Tara Abraham, Integrating Mind and Brain: Warren S. McCulloch, Cerebral Localization, and Experimental Epistemology, *Endeavour* 27 (2003), 32–38; Margaret Boden, *Mind as machine: a history of cognitive science*, Cambridge/MA: MIT Press 2006; Michael Hagner, *Der Geist bei der Arbeit: historische Untersuchungen zur Hirnforschung*, Göttingen: Wallstein 2006; Michael Wheeler, Phil Husbands, und Owen Holland (Hrsgg.), *The Mechanisation of Mind in History*, Cambridge/MA: MIT Press 2007; kritisch dazu, siehe v.a. Katherine C. Wright, *Being Human in Postwar American Thought and Culture: A History from the Cybernetic Perspective*, unver. PhD These, University of Toronto 2003; Philipp Aumann, *Mode und Methode. Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*, Göttingen: Wallstein 2009; Ronald Kline, Where are the cyborgs in cybernetics?, *Social Studies of Science* 39 (2009), 331–362.
- 17 Wenn hier von Rahmenerzählung die Rede ist, ist diese ganz unabhängig von der kybernetischen Begeisterung vom Gehirn natürlich keineswegs auf die Geschichte der Nervenwissenschaften beschränkt. Erstere speist (und speist sich aus) Positionen, die von der Medienarchäologie Kittler’scher Prägung bis hin zur feministischen Wissenschaftstheorie à la Donna Harraway reichen. Der hier verfolgte Ansatz dagegen ist ganz maßgeblich an den dort kaum mehr zur Kenntnis genommenen, neueren Entwicklungen der Technikgeschichte orientiert. Dazu siehe, im hier relevanten Zusammenhang, vor allem David Mindell, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing before Cybernetics*, Baltimore: Johns Hopkins Press 2002; David Edgerton, *Warfare State: Britain, 1920–1970*, Cambridge: Cambridge University Press 2006; David Edgerton, *Shock Of The Old: Technology and Global History since 1900*, Oxford: Oxford University Press 2006.
- 18 Pickering, *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future* (wie Anm. 13).
- 19 Die Liste der relevanten Literatur ist lang – vgl. u. a. Stephen J. Heims, *Constructing a Social Science for Postwar America: The Cybernetics Group, 1946–1953*, Cambridge/MA: MIT Press 1991; Geoffrey Bowker, How to be Universal: Some Cybernetic Strategies, 1943–1970, *Social Studies of Science* 23 (1993), 107–127; Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code*, Stanford: Stanford University Press 2000; Philip Mirowski, *Machine Dreams: Economics becomes a cyborg science*, Cambridge: Cambridge University Press 2002; Evelyn F. Keller, *Making Sense of Life: Explaining Biological Development with Models, Metaphors, and Machines*, Cambridge/MA: Harvard University Press 2002; Stefan Rieger, *Kybernetische Anthropologie: Eine Geschichte der Virtualität*, Frankfurt/Main: Suhrkamp 2003; Jennifer Light, *From Warfare to Welfare: Defense Intellectuals and Urban Problems in Cold War America*, Baltimore: Johns Hopkins University 2005; Helen Dunbar-Hester, Listening to Cybernetics: Music, Machines, and Nervous Systems, 1950–1980, *Science, Technology & Human Values* 35 (2010), 113–139.
- 20 Zitiert ist Grey Walter an Bates, 28. Juli 1949, Bates papers, B.1, Wellcome Library for the History of Medicine, London. In ähnlich kritischer Absicht, vgl. die Arbeiten von Mindell, *Between Human and Machine* (wie Anm. 17); Wright, *Being Human* (wie Anm. 16); John Agar, *The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer*, Cambridge/MA: MIT Press 2003; Jennifer Light, Taking Games Seriously, *Technology and Culture* 49 (2008), 347–375; Aumann, *Mode und Methode* (wie Anm. 16); Kline, *Where are the cyborgs* (wie Anm. 16).

- 21 Siehe insb. Jamie Cohen-Cole, *Thinking About Thinking in Cold War America*, unver. PhD These, University of Princeton 2003; David P. Julyk, „*The Trouble With Machines Is People.*“ *The Computer as Icon in Post-War. America: 1946–1970*, unver. PhD These, University of Michigan 2008; Aumann, *Mode und Methode* (wie Anm. 16); Kline, *Where are the cyborgs* (wie Anm. 16).
- 22 Beispiele hierfür etwa: Hayles, *How We Became Posthuman* (wie Anm. 13); Andrew Pickering, *Cybernetics and the Mangle: Ashby, Beer and Pask*, *Social Studies of Science* 32 (2002), 413–437; Dunbar-Hester, *Listening to Cybernetics* (wie Anm. 19). Allgemein zu dieser Problematik, siehe insb. Peter Mandler, *The Problem with Cultural History, Cultural and Social History* 1 (2004), 5–28.
- 23 Vgl. etwa Wright, *Being Human* (wie Anm. 16). Im Kern rankt sich die Kybernetik-Geschichtsschreibung dann auch um kaum mehr als um die einigen, wenigen Gestalten die sich im Rahmen der so genannten „Macy Conferences“ fanden.
- 24 Two biologists went to war, *Discovery* 13 (Februar 1952), 44–46.
- 25 Hodgkin, Brief an Mutter, 11. Juli 1939, HDGKN A.142.
- 26 Hodgkin, Brief an Mutter, 13. August 1939, HDGKN A.142.
- 27 Siehe John Z. Young, Structure of nerve fibers and synapses in some invertebrates, in: *Cold Spring Harbor Symposia in Quantitative Biology*, Cold Spring Harbor, N.Y. 1936, S. 1–6.
- 28 „Islay, July 1939“ (lose Notiz), HDGKN D.96; Ausführliches in Max Stadler, *Assembling Life. Models, the cell, and the reformations of biological science, 1920–1960*, unver. PhD These, Imperial College London 2010.
- 29 Vgl. etwa Edgar D. Adrian, *The Basis of Sensation: The Action of the Sense Organs*, London: Hafner 1928; Archibald V. Hill, *Chemical Wave Transmission in Nerve*, Cambridge: Cambridge University Press 1932; Joseph Erlanger und Herbert Gasser, *Electrical Signs of Nervous Activity*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press 1937; Bernard Katz, *Electric Excitation of Nerve: A Review*, London: Oxford University Press 1939. Ein wenig Hintergrund bietet auch Timothy Lenoir, Models and instruments in the development of electrophysiology, 1845–1912, *Historical Studies in the Physical Sciences* 17 (1986), 1–54; Robert Frank, Instruments, Nerve Action, and the All-or-None Principle, *Osiris* 9 (1994), 208–235. Die Geschichtsschreibung zur Nervenphysiologie konzentriert sich allerdings fast ausschließlich auf das 19. Jahrhundert.
- 30 Vgl. insb. Cornelius Borck, *Hirnströme: eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*, Göttingen: Wallstein 2005; Stadler, *Assembling Life*, Kapitel 3 (wie Anm. 28).
- 31 Zitiert ist Otto Ranke, Philipp Broemser, *Ergebnisse der Physiologie* 44 (1941), 2; zur Physik, siehe Jeff Hughes, Plasticine and Valves. Industry, Instrumentation and the Emergence of Nuclear Physics, in: Jean-Paul Gaudillière und Ivana Löwy (Hrsgg.), *The Invisible Industrialist. Manufactures and the Production of Scientific Knowledge*, London: Macmillan & Co. 1998, S. 58–101; Robert Wittje, *Acoustics, atom smashing and amateur radio: physics and instrumentation at the Norwegian Institute of Technology in the interwar period*, unver. PhD These, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology 2003; allgemeiner zur ‚radio-hobby-culture‘, siehe insb. Kristen Haring, *Ham radio’s technical culture*, Cambridge/MA: MIT Press 2007; Steve J. Wurtzler, *Electric sounds: technological change and the rise of corporate mass media*, New York: Columbia University Press 2007.
- 32 Peter Donaldson, *Electronic Apparatus for Biological Research*, London: Butterworths 1958, Vorwort; Robert Heller, Permeabilität und Ermüdung, III. Mitteilung, *Pflüger’s Archiv* 225 (1930), 196.
- 33 Siehe etwa Archibald V. Hill, Instruments and Apparatus in Relation to Progress in Physiology, *Journal of Scientific Instruments* 1 (1922), 4–9; Adrian, *The Basis of Sensation* (wie Anm. 29), S. 39; nn., Electricity and the Philosophers, *The Guardian* (5 Januar 1931); Bryan M.C Matthews, Recent developments in electrical instruments for biological and medical purposes, *Journal of Scientific Instruments* 12 (1935), 209–214.
- 34 Cornelius Borck, Electrifying the brain in the 1920s: electrical technology as a mediator in brain research, in: Paola Bertucci und Giuliano Pancaldi (Hrsgg.), *Electric Bodies. Episodes in the history of medical electricity*, Bologna: CIS, University of Bologna 2001, S. 239–264; Sven Dierig, *Wissenschaft in der Maschinenstadt*, Göttingen: Wallstein 2006; Henning Schmidgen, *Die Helmholtz-Kurven: auf der Spur der verlorenen Zeit*, Berlin: Merve 2009.
- 35 In der Tat ist die Physiologie-Historiographie in weiten Teilen identisch mit derjenigen zur „Graphischen Methode“, was eine nicht ganz unproblematische – weil einseitige – Anbindung zur Photographie- und Kunstgeschichte zur Folge hatte; siehe etwa Marta Braun, *Picturing time: the work of Etienne-Jules Marey (1830–1904)*, Chicago: University of Chicago Press 1992; Soraya de Chadarevian, Die ‚Methode der Kurven‘ in der Physiologie zwischen 1850 und 1900, in: Hans-Jörg Rheinberger und Michael Hagner (Hrsgg.), *Die Experimentalisierung des Lebens. Experimentalsysteme in den biologi-*

- schen Wissenschaften 1850/1900*, Berlin: Akademie Verlag 1993, S. 28–49; Robert Brain and M. Norton Wise, *Muscles and Engines: Indicator Diagrams in Helmholtz's Physiology*, in: Lorenz Krueger (Hrsg.), *Universalgeliebt Helmholtz: Rückblick nach 100 Jahren*, Berlin: Akademie Verlag 1994, S. 124–145; John W. Duoard, E.-J. Marey's Visual Rhetoric and the Graphic Decomposition of the Body, *Studies in History and Philosophy of Science* 26 (1995), 175–204; Robert Brain, Representation on the Line: The Graphic Method and the Instruments of Scientific Modernism, in: Bruce Clarke und Linda D. Henderson (Hrsgg.), *From Energy to Information: Representation in Science and Technology, Art, and Literature*, Stanford: Stanford University Press 2002, S. 155–178; M. Norton Wise, *Neo-Classical Aesthetics of Art and Science: Hermann Helmholtz and the Frog-Drawing Machine*, Hans Rausing Lecture, Uppsala: 2007; Philipp Felsch, *Laborlandschaften: Physiologen über der Baumgrenze 1800–1900*, Göttingen: Wallstein 2007; Jimena Canales, *A Tenth of a Second: A History*, Chicago: Chicago University Press 2009.
- 36 Eine Geschichte der elektrischen und elektronischen Messtechniken und Schaltkreise steht noch aus. Siehe aber Peter A. Keller, *The Cathode-ray Tube: Technology, History, and Applications*, New York: Palisades Press 1992; Edward Jones-Imhotep, Disciplining Technology: Electronic Reliability, Cold-War Military Culture, and the Topside Ionogram, *History and Technology* 17 (2001), 125–175; ders., Icons and Electronics, *Historical Studies in the Natural Sciences* 38 (2008), 405–450.
- 37 Hier nach Katz, *Electric Excitation of Nerve*, (wie Anm. 29), S. 66 und passim. Vgl. auch Anm. 6.
- 38 Die Abschätzigkeit mit der sich gewisse – vorwiegend akademisch gesinnte – Physiologen zunehmend gegenüber solchen, überaus gängigen Praktiken und Ansätzen äußerten, kann allerdings keineswegs als adäquate Beschreibung dieser Zustände gelten. Tatsächlich wird hier nicht zuletzt – und ganz massiv – der praktische Zweck solcher, primär anwendungsorientierter Verfahren unterschlagen – sowie der durchaus beträchtliche Erkenntnisgewinn in Sachen Elektrobiologie, der durch diese abfiel (siehe Stadler, *Assembling Life*, Kapitel 3 (wie Anm. 28)). Für die Zwecke des vorliegenden Aufsatzes allerdings tut dies wenig zur Sache.
- 39 Zu dem dann immer wieder aufflammenden Vorwurf der – untragbaren – „Künstlichkeit“ elektrophysiologischer Eingriffe, siehe insb. Hans Winterstein, Elektrische Reizung und physiologische Erregung, *Naturwissenschaften* 13 (1931), 247.
- 40 Adrian, Application for a Grant for Research into the Biophysics of Nerve (October 1945), RF/RG. 1. 2, 401 A. Box 13, Folder 114, Rockefeller Archives, Sleepy Hollow. Zu Katz siehe insb. Katz an Hill, 13. November 1945, AVHL II 4/47; Katz, ‚Curriculum Vitae‘ (1945), in AVHL II 4/47, A.V. Hill papers, Churchill Archive Centre; A. Hodgkin, A. Huxley, und B. Katz, Measurement of current-voltage relations in the membrane of the giant axon of Loligo, *Journal of Physiology* 116 (1952), 424–448; B. Katz, Sir Bernard Katz, in: Larry Squire (Hrsg.), *The History of Neuroscience in Autobiography Vol. 1*, Washington, D.C.: APS 1998, S. 348–381. Die nicht unerhebliche Rolle Bernard Katzs in der Geschichte des Nervenimpulses wird hier allerdings nicht weiter verfolgt.
- 41 Eine Rezeptionsgeschichte der Arbeiten Hodgkins und Huxleys kann im Rahmen dieses Essays in jedem Fall nicht geliefert werden. Deren grundsätzlicher, rascher und bis heute andauernder Erfolg erklärt sich allerdings nicht zuletzt durch die im Weiteren hier beschriebene, kriegsinduzierte Intensivierung und Verbreitung elektronischer Messverfahren und Denkweisen, lässt sich aber kaum darauf reduzieren. Der damit ebenfalls Vorschub geleisteten Kommerzialisierung und Professionalisierung technischer Spezialdisziplinen wie ‚biomedical electronics‘ etwa wäre hier genauso mit anzuführen wie disziplinäre und institutionelle Rekonstellationen innerhalb der Physiologie. Die mit der Ausdifferenzierung von Neurowissenschaft und Humanphysiologie einhergehende, zunehmende Entkopplung von Nerven- und Muskelphysiologie beispielsweise – letztere traditionell und der Sache nach enger mit den biochemisch-energetischen Aspekten der Bioelektrizität verknüpft – wäre in letzterer Hinsicht besonders relevant. Verfechter alternativer, vorwiegend biochemischer Ansätze zum Nervenimpuls – zu nennen, wären hier insbesondere die Namen David Nachmansohn und Gilbert Ling – wären dementsprechend einsame, kaum gehörte Stimmen im Nachkriegswald der Schaltkreise und Ionenströme.
- 42 Wie im Falle vieler Spezialdisziplinen (etwa der Elektroakustik), verbreiteten sich Schalttdiagramm-basierte Analyseverfahren – Stichwort ‚equivalent circuit‘ / ‚Ersatzschaltung‘ – bereits in der Zwischenkriegszeit in der physikalischen Physiologie.
- 43 Siehe hierzu etwa John Pringles Einschätzung acht Jahre später in dem Sammelband *Models and analogues in biology*: Dieses „wohlbekannte“ Modell des Nervenimpulses, so erschien es Pringle, war nicht zuletzt avanciert zum Musterbeispiel dafür, „the full rigours of a mathematical test“ zu bestehen (ebd., *Symposia of the Society for Experimental Biology* 14, Cambridge: SEB, 1960, S. 42).

- 44 Ausführlicher dazu siehe unten; sowie Stadler, *Assembling Life*, Kapitel 4–5 (wie Anm. 28).
- 45 John Z. Young, *What squids and octopuses tell us about brains and memories*, New York: American Museum of Natural History 1977, S. 9.
- 46 Siehe Jones an Wiener, 17. November 1948, Wiener papers, MC22, Folder 86, Box 6, MIT Archives, Cambridge/MA.
- 47 Siehe Wiener an Fremont-Smith, 25. April 1946, MC22, Box 5, Folder 70; Rockefeller Foundation an Wiener, 29. Mai 1946, MC22, Box 5, Folder 71 (Wiener papers); Arthuro Rosenblueth et al., An account of the spike potential of axons, *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 32 (1948), 275–317.
- 48 Näheres zum Calculus findet sich etwa bei Kay, From Logical Neurons to Poetic Embodiments of Mind: Warren S. McCulloch's Project in Neuroscience (wie Anm. 16); sowie Tara Abraham, (Physiological circuits: the intellectual origins of the McCulloch-Pitts neural networks, *Journal of the History of the Behavioral Sciences* 38 (2002), 3–25; dies., From theory to data: representing neurons in the 1940s, *Biology and Philosophy* 18 (2003), 415–426; Gualtiero Piccinini, The First Computational Theory of Mind and Brain: A Close Look at McCulloch and Pitts's „Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity“, *Synthese* 141 (2004), 175–215.
- 49 Notes on J.Z. Young (undated, c.1948) in File ‚Prof. J.Z. Young, Talks 1946–1959‘, BBC Archives, Reading.
- 50 Mellanby an Randall, 29. März 1949, Papers of Sir John Randall, RNDL 2/2/1, Churchill Archive Centre, Cambridge.
- 51 In diesem Sinne sei auch darauf hingewiesen, dass mit obigen Ausführungen nicht suggeriert werden soll, die in der Nachkriegszeit virulente Rhetorik von „basic science“ sei, im Gegensatz zur Kybernetik, für bare Münze zu nehmen (Mellanby, nebenbei bemerkt, war kein spezieller Freund der Labore, sondern immer bedacht um die klinische Forschung). Wie Soraya de Chadarevian dies für den Fall Englands meisterlich dargestellt hat, standen gerade die Biophysiker den Kybernetikern in der Regel um nichts nach, wenn es darum ging, ein neues Zeitalter interdisziplinärer, biomedizinischer Forschung zu verkünden (siehe de Chadarevian, *Designs for Life* (wie Anm. 15)). Allerdings, insofern institutionelle Realitäten als Indiz für historische Wirkmächtigkeiten gelten können, stand es, wie hier eben angedeutet, um erstere ungleich besser bestellt. Ich danke einem anonymen Leser für den Hinweis auf Klärungsbedarf.
- 52 Frederic L. Holmes, *Investigative pathways: patterns and stages in the careers of experimental scientists*, New Haven: Yale University Press 2004.
- 53 Staempfli an Hodgkin, 1. Februar 1948, HDGKN H.9.
- 54 Zahlen nach AVIA 15/3820; AVIA 15/2260, Ministry of Aviation, UK National Archives, Kew. Die Geschichte des TRE steht noch aus. Besonders relevant für folgende Darstellungen sind allerdings die Ausführungen John Agars zur bürotechnischen Bewältigung des Radarkriegs in ders., *The Government Machine* (wie Anm. 20). Allgemeiner zur Radarforschung in England, siehe R. Hanbury Brown, *Boffin: A Personal Story of the Early Days of Radar, Radio Astronomy and Quantum Optics*, Bristol: Hilger 1991; Bernard Lovell, *Echoes of War: The Story of H2S Radar*, Bristol: Hilger 1991; Edward G. Bowen, *Radar Days*, Bristol: Hilger 1998; David Zimmerman, *Britain's Shield: Radar and the Defeat of the Luftwaffe*, Sutton: Stroud 2001.
- 55 Zitiert aus Memorandum (undatiert) „Welfare – ...Complaints and Suggestions“, Bernard Lovell papers, BL 7.2, Imperial War Museum, London.
- 56 Arthur C. Clarke, *Glide Path*, London: Sphere Books 1970, S. 29; Vgl. auch Colin Latham und Anne Stobbs (Hrsgg.), *Pioneers of radar*, Stroud: Sutton 1999.
- 57 Als Ausnahme wären zu nennen die Arbeiten von E. Jones-Imhotep, siehe Anm. 36.
- 58 1930 erscheint beispielsweise erstmals das Magazin *Electronics*; siehe K. Henney, A Decade of Electronics, 1930–1940, *Electronics* 11 (1940), 17–24.
- 59 Zum Beispiel: Friedrich W. Hagemeyer, *Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Industrie- und Kriegsforschung*, unver. Dissertation, FU Berlin 1979); Stuart Bennett, *A history of control engineering, 1930–1955*, London: Peter Peregrinus Ltd 1993; Mark D. Bowles, U.S. Technological Enthusiasm and British Technological Skepticism in the Age of the Analog Brain, *IEEE Annals of the History of Computing* 18 (1996), 5–15; Mindell, Between Human and Machine (wie Anm. 17).
- 60 W.P. Vogel, Electrons at work, *Popular Science* (September 1946), 16; siehe auch Jones-Imhotep, *Disciplining Technology; Icons and Electronics* (wie Anm. 36).
- 61 George Simondon, *Du mode d'existence des objets technique*, Paris: Aubier 1958.

- 62 Tatsächlich war, in Sachen Röhren, Hodgkin sogar einige Zeit Mitglied des (interservice) Special Applications Valve Sub Committee, kam also schon früh mit neuen (und geheimen) Entwicklungen wie etwa dem Magnetron in Kontakt. Die Röhrentechnik voranzutreiben war aber spätestens seit dem Ersten Weltkrieg vor allem eine Sache des Militärs und der Industrie. Vgl. dazu Sebastien Soubiran, National Naval Laboratories and the Development of Fire Control Gyrocompasses in Interwar Britain and France, in: Steve A. Walton (Hrsg.), *Instrumental In War: Science, Research, and Instruments Between Knowledge and the World*, Leiden: Brill 2005, S. 271–300; Edgerton, *Warfare State* (wie Anm. 17).
- 63 Unter anderem: Paul Forman, Behind quantum electronics: national security as basis for physical research in the United States, 1940–1960, *Historical Studies in the Physical Sciences* 18 (1987), 149–229; Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago: University of Chicago Press 1997; Mario Biagioli und Peter Galison (Hrsgg.), *Scientific Authorship: Credit and Intellectual Property in Science*, London: Routledge 2002; Hunter Crowther-Heyck, *Herbert A. Simon: the bounds of reason in modern America*, Baltimore: Johns Hopkins Press 2005; Joan Bromberg, Device Physics vis-à-vis Fundamental Physics in Cold War America, *Isis* 97 (2006), 237–259.
- 64 Zu diesem Punkt Vgl. auch J. Agar, *The Government Machine*, Kapitel 6 (wie Anm. 20).
- 65 Thomas Richards, *The imperial archive: knowledge and the fantasy of empire*, London: Verso 1993, S. 143.
- 66 Central Register Advisory Committee, Appendix zu: Meeting on 20 May 1939, T162/1025, Treasury, UK National Archives, Kew.
- 67 David A. Grier, *When Computers Were Human*, Princeton: Princeton University Press 2005.
- 68 Hagemeyer, *Die Entstehung von Informationskonzepten* (wie Anm. 59), S. 78.
- 69 Siehe, u. a. Matthew Farish, Archiving Areas: The Ethnogeographic Board and the Second World War, *Annals of the Association of American Geographers* 95 (2005), 663–679; Avril Maddrell, The ‚Map Girls‘. British women geographers’ war work, shifting gender boundaries and reflections on the history of geography, *Transactions of the Institute of British Geographers* 33 (2007), 127–148; Robert Ferguson, A New R&D Order: The Rise of Big Engineering in the Second World War, in: Margarette Vining und Barton Hacker (Hrsgg.), *Science in Uniform, Uniforms in Science: Historical Studies of American Military and Scientific Interactions*, Lanham, Md: Scarecrow 2007, S. 99–114; Will Thomas, *A Veteran Science: Operations Research and Anglo-American Scientific Cultures, 1940–1960*, unver. PhD These, Harvard University 2007; David H. Price, *Anthropological intelligence: the deployment and neglect of American anthropology in the second world war*, Durham, NC: Duke University Press 2008.
- 70 Maddrell, The ‚Map Girls‘ (wie Anm. 69), S. 138.
- 71 Siehe insb. Martin Lawn, The British Way and Purpose: The Spirit of the Age in Curriculum History, *Journal of Curriculum Studies* 21 (1989), 113–128; William Buxton, Reaching Human Minds: Rockefeller Philanthropy and Communications, 1935–1939, in: Theresa Richardson und Donald Fisher (Hrsgg.), *The development of the social sciences in the United States and Canada: The role of philanthropy*, Stanford, CT: Ablex 1999; Thomas, *A Veteran Science* (wie Anm. 69); Boel Berner, Rationalizing Technical Work. Visions and Realities of the Systematic Drawing Office in Sweden, 1890–1940, *Technology and Culture* 48 (2007), 20–42; R. Ferguson, A New R&D Order (wie Anm. 69); Jones-Imhote, Icons and Electronics (wie Anm. 36).
- 72 University Radio Syllabus 1942–43, Report April 13 1943, LAB 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 73 G. Patrick Meredith (et al.), The Place of Visual Aids in the Teaching of Mathematics, *Mathematical Gazette* 31 (1948), 196–197; und ders., *Visual Education and the New Teacher: A Study Of Children And Machines, Of Organization And Men*, Exeter: Visual Education Centre 1946.
- 74 Martin Heidegger, Das Zeitalter des Weltbildes, in: ders., *Holzwege*, Frankfurt/Main: Klostermann 1950, S. 75–114. Von einer „avalanche of numbers“ spricht man nach Ian Hacking bekannterweise hinsichtlich der Statistik des 19. Jahrhunderts; hier aber geht es weniger um das Einsetzen einer solchen Lawine, sondern deren allumgreifende Intensivierung, und die damit in Verbindung stehenden Verarbeitungsstrategien. Letztere, wie hier betont wird, wurden zur Jahrhundertmitte allerdings auf neue Reflektionsstufen gehoben.
- 75 So zumindest Dr. E. S. C. Megaw, Chief Scientist des Admiralty Signals Establishment in Surrey (und Vorgesetzter des Physiologen Richard Keynes, Hodgkin’s zukünftigen Assistenten). Vgl. Megaw, ‚New Techniques‘, Secret memorandum 13. Juni 1946, ADM 220/89, UK National Archives, Kew.

- 76 Zitiert ist Hill an Fowler, 4 Oktober 1940, A.V. Hill papers, AVHL I 3/19, Churchill Archive Centre, Cambridge.
- 77 Siehe hierzu auch S. de Chadarevian, *Designs for Life* (wie Anm. 15); Robert Schoenfeld, *Exploring the Nervous System: With Electronic Tools, an Institutional Base, a Network of Scientists*, Boca Raton, Fl.: Universal 2006; Tilli Tansey, Keeping the culture alive: the laboratory technician in mid-twentieth century British medical research, *Notes and Records of the Royal Society* 62 (2008), 77–95.
- 78 Zitiert ist Bates an Pringle, 3. August 1949, Bates papers, B.1, Wellcome Library for the History of Medicine, London. Zu diesem Bild der Radar/Biologie-Interaktion, siehe u. a. Boden, *Mind as machine* (wie Anm. 16); P. Husbands und O. Holland, *The Ratio Club* (wie Anm. 15); Pickering, *The Cybernetic Brain* (wie Anm. 13).
- 79 Ashby an Young, 22. Mai 1952, J.Z Young papers, F.2, UCL Special Collections, London.
- 80 Brundrett an Fielding, 22. Oktober 1940, LAB 8/873, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 81 ‚Statement on staff employed on radio work in the services‘, Juni 1942, LAB 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 82 ‚Navy, Army and Air Force requirements for radio maintenance personnel‘ (July 1941); Capon an Clement Jones, 30 April 1942, LAB 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 83 ‚Personnel for R.D.F.‘ (memorandum by Wattson-Watt), 28. April 1940, AVIA 9/36, Ministry of Aviation, UK National Archives, Kew.
- 84 ‚Position Regarding Supply and Demand‘ (November 1940), LAB 8/873, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 85 ‚Supply of Wireless Personnel‘ (memorandum 30. November 1940), LAB 8/873, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 86 Snow an Roskill, 6. Januar 1974, Hankey papers, HNKY 12/1, Churchill Archive Centre, Cambridge.
- 87 Snow, ‚Hankey Radio Training Scheme‘, Report 1, März 1941, LAB 8/873, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 88 Vgl. Bragg an Lindley, 17. April 1945; ‚Note to Mr Holye‘, 15. Juni 1945, LAB 8/ 1645, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew.
- 89 Siehe ‚War Cabinet. Skilled Radio Personnel. Second Progress Report‘, 1941, WO 31/10992; Snow, ‚Hankey Radio Training Scheme‘, Report 1, März 1941, LAB 8/873 (UK National Archives); ‚The intensive training scheme‘ (March 1942), Hankey papers, HNKY 12/1, Churchill Archives Centre, Cambridge.
- 90 Vgl. ‚Equipment ordered for technical colleges‘, ‚Equipment ordered for universities‘ (23 February 1942), LAB 8/506 (UK National Archives).
- 91 Snow, ‚Interim Report‘ (Dezember 1941), Lab 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives, Kew; Browne an Hankey, 8. April 1942, Hankey papers, HNKY 12/1, Churchill Archives Centre, Cambridge.
- 92 Lovell, ‚Plan B‘ (20. April 1944), Lovell papers, BL 7/1, Imperial War Museum, London.
- 93 Zitiert sind Notebooks II und III, Private papers of F. J. Wilkinson, Imperial War Museum, London.
- 94 Ibid.
- 95 ‚University Radio Syllabus 1942–43‘, Report April 13 1943, LAB 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives.
- 96 Zu den diversen Aufgaben und Projekten Hodgkins als Radarforscher vgl. u. a. Radar Notebook, St Athans 1940, HDGKN C.68; Hodgkin an Mutter, 9. Februar 1941; 19. März 1941; 18. Juli 1941, HDGKN A.146; 26. Juni 1942; 4. August 1942, HDGKN A.147; 22. August 1942, HDGKN A.148; Hodgkin, *Chance and Design* (wie Anm. 7), S. 164–165.
- 97 Vgl. Radar Notebook, St Athans 1940, HDGKN C.68; Preliminary Report on the Production of Narrow Beams, 13. August 1940, TRE REF 4/4/217, Lovell papers, BL 4, file 3, Imperial War Museum, London; W.L. Barrow und E.D. Lewis, The Sectoral Electromagnetic Horn, *Proceedings of the IRE* 27 (1939), 41–50; W.L. Barrow und L.J. Chu, Theory of the Electromagnetic Horn, *Proceedings of the IRE* 27 (1939), 51–64.
- 98 Die hier zugrunde gelegte Verwendung des Begriffs ‚performance‘ geht zurück auf Hodgkins zeitweiligen Kollegen, den ex-radar Physiologen John Pringle; Vgl. *Models and analogues in biology* (wie Anm. 43).
- 99 ‚University Radio Syllabus 1942–43‘, Report April 13 1943, LAB 8/506, Ministry of Labour, UK National Archives.

- 100 TRE Teaching Panel, record of 3rd meeting (15 March 1944), Lovell papers, BL 7.1, Imperial War Museum, London.
- 101 *University Development from 1935 to 1947, Being the Report of the University Grants Committee*, London: HMSO 1948, S. 22.
- 102 Vgl. Surplus-Listen in Hodgkin papers, HDGKN B.321; B.322.
- 103 Edgar D. Adrian, Address of the President Dr. E.D. Adrian, O.M., at the Anniversary Meeting, 30 November 1953, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A* 221 (1954), 5.
- 104 Näheres dazu in Stadler, *Assembling Life* (wie Anm. 28).
- 105 Siehe insb. George Marmont, Studies on the axon Membrane; a new method, *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 34 (1949), 351–382; Alan Hodgkin, Andrew Huxley, und B. Katz, Measurement of current-voltage relations (wie Anm. 40).
- 106 Buller an Hodgkin, 2 Juni 1949, HDGKN H.15.
- 107 Seymour Benzer, zitiert nach H. Asaturian, Interview with Seymour Benzer (1921–2007), S. 15. Online einsehbar auf http://www.alhistories.library.caltech.edu/27/01/OH_Benzer_S.pdf (letzter Zugriff 9. September 2010).
- 108 Huxley an Hodgkin, 13. März 1945, HDGKN C.158.
- 109 Cole an Hodgkin, 1. Februar 1945, H.1; Huxley an Hodgkin, 13 März 1945, HDGKN C.159.
- 110 Rushton to Hodgkin, 29. März 1945, HDGKN H. 2.
- 111 M. Bowles, U.S. Technological Enthusiasm (wie Anm. 59).
- 112 Kenneth S. Cole, Rectification and inductance in the squid giant axon, *Journal of General Physiology* 25 (1941), 29–51, hier S. 29.
- 113 Allg. zu den Nachkriegskarrieren des maschinellen Rechnens in der Biologie, siehe Joseph A. November, *Digitizing Life: The Introduction of Computers to Biology and Medicine*, unver. PhD These, Princeton, 2006.
- 114 Zur (Vor)Geschichte dieser performativen Modelle jenseits vor allem des Rechnens, siehe Lenoir, Models and instruments (wie Anm. 29); Stadler, *Assembling Life* (wie Anm. 28); Thomas Brandstetter, Leben im Modus des Als-Ob. Spielräume eines alternativen Mechanismus um 1900, in: Armen Avanessian, Winfried Menninghaus, und Jan Völker (Hrsgg.), *Vita Aesthetica. Szenarien ästhetischer Lebendigkeit*, Berlin: Diaphanes 2009, S. 237–249; Vgl. auch Angela Creager, Elizabeth Lunbeck, und M. Norton Wise (Hrsgg.), *Science without Laws: Model Systems, Cases, Exemplary Narratives*, Durham, NC: Duke University Press 2007; M. Norton Wise (Hrsgg.), *Growing Explanations*, Durham, NC: Duke University Pres 2004.
- 115 D.A. Webb, The sodium and potassium content of sea water, *Journal of Experimental Biology* 16 (1939), 178–183, S. 178; J. Z. Young und D.A. Webb, Electrolyte content and action potential of the giant nerve fibres of *Loligo*, *Journal of Physiology* 98 (1940), 299–313; ‚Note on the resting potential action potential problem‘ (1939), HDGKN D.96.
- 116 Siehe insb. Hodgkin an Young, 20. April 1948, J. Z. Young papers, 93/89, UCL Special Collections, London; HB Steinbach und S. Spiegelman, The sodium and potassium balance in squid nerve axoplasm, *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 22 (1943), 187–196; Mortimer A. Rothenberg, Studies on permeability in relation to nerve function, ionic movements across exonal membranes, *Biochimica et Biophysica Acta* 4 (1950), 96–114.
- 117 Torsten Teorell, Permeability, *Annual Review of Physiology* 11 (1949), 545–546.
- 118 Siehe u. a. T. Teorell, Permeability (wie Anm. 117); Hugh Davson und J. Frederic Danielli, *The permeability of natural membranes (2nd edition)*, Cambridge: Cambridge University Press 1952; Eric J. Harris, *Transport and Accumulation in Biological Systems*, London: Butterworths 1960.
- 119 Die mittlerweile recht umfangreiche Literatur zur Nachkriegskonjunktur von Isotopen, tracer, etc., bewegt sich allerdings vorwiegend im Fahrwasser der Geschichtsschreibung zur Molekularbiologie, weitaus weniger an hier relevanteren Gebieten der Biochemie, Physiologie und (industriellen) Materialforschung.
- 120 „Some notes on the relationship between the sciences“ (undatiert), Blackett papers, PB/4/7/1/9, Royal Society Library, London.
- 121 J. Agar, *The Government Machine*, inbs. Kapitel 6 (wie Anm. 20).
- 122 Gregg Tagebuch, 5 März 1948, RF 1.2 401 A, Box 13, Folder 114, Rockefeller Archives, Sleepy Hollow.
- 123 Vgl. etwa L. S. Dederick, The Mathematics of Exterior Ballistic Computations, *The American Mathematical Monthly* 47 (1940), 628–634; Harry Polachek, Before the ENIAC [weapons firing table calculations], *Annals of the History of Computing* 19 (1997), 25–30.

- 124 Vgl. Hodgkin, Report on A.F. Huxley's qualifications (1949), HDGKN H.16; Hodgkin an Mutter, 31. Mai 1943, HDGKN A.149; A.K. Solomon, Transcripts of Interviews. Oral History Committee, 1993–1995. Countway Library, Harvard Medical School.
- 125 Huxley an Hodgkin, 13. März 1945, HDGKN C.158.
- 126 Zu Hartree, einer zentralen Figur in Sachen Computergeschichte, siehe Charlotte F. Fischer, *Douglas Rayner Hartree: His Life in Science and Computing*, World Scientific Publishing: London 2003.
- 127 Siehe insb. A.L. Hodgkin und A.F. Huxley, A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve, *Journal of Physiology* 117 (1952), 512.
- 128 Vgl. *The Neuron. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 17, Cold Spring Harbor 1952, 51.
- 129 Thomas, *A Veteran Science* (wie Anm. 69).
- 130 Blackett, A Note on certain aspects of the methodology of operational research (1943), Kopie in A.V. Hill papers, AVHL I 2/2, Churchill Archives Centre, Cambridge.
- 131 Zu diesem Begriff, siehe Lorraine Daston und Peter Galison, *Objectivity*, New York: Zone 2007.
- 132 Vgl. u. a. Hodgkin an Mutter, 9. Februar 1941; 19. März 1941; 18. Juli 1941, HDGKN A.146; 26. Juni 1942; 4. August 1942, HDGKN A.147; 22. August 1942, HDGKN A.148; Hodgkin, *Chance and Design* (wie Anm. 7), S. 164–165.
- 133 Dabei war klarerweise der Umbruch im physiologischen Denken nicht auf die Nervenphysiologie beschränkt. Wie vor allem Jean-Paul Gaudillière betont hat, fand auf biochemischer und elektrolyt-physiologischer Ebene ein sehr breites Umdenken – eine Dynamisierung der Konzepte – statt. Siehe Jean-Paul Gaudillière, Normal Pathways: Controlling Isotopes and Building Biomedical Research in Postwar France, *Journal of the History of Biology* 39 (2006), 737–764; nicht weiter eingegangen werden kann hier auch auf einen weiteren konzeptionellen Bruch mit der klassischen „Membrantheorie“ der Nervenaktion, die so genannte „sodium theory“, die unmittelbar nach Kriegsende ebenfalls von den Cambridge Biophysikern formuliert wurde. Mehr dazu in Stadler, *Assembling Life* (wie Anm. 28).
- 134 Vgl. auch A.L. Hodgkin and B. Katz, The effect of sodium ions on the electrical activity of the giant axon of the squid, *Journal of Physiology* 108 (1949), 38; 66–70; MS for Hardy Club lecture (1950), S. 9, HDGKN E. 4.
- 135 Hodgkin an Mutter, 9. Dezember 1943, HDGKN A.149; 19. Januar 1944, HDGKN A.150.
- 136 Cole an Rappleye, 9. Oktober 1940, Personal File, Kenneth S. Cole, Columbia Medical Center Archives and Special Collections, NYC; Cole an Hodgkin, 1. Februar 1945, HDGKN H. 1.
- 137 Cole, Rectification and inductance (wie Anm. 112), S. 42; Howard J. Curtis und Kenneth S. Cole, Membrane resting and action potentials from the squid giant axon, *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 19 (1942), 142–143.
- 138 Vgl. Debye to Hanson, 30. September 1941, RF/RG 1.1 200D Box 133, Folder 1650, Rockefeller Archives, Sleepy Hollow; T. Teorell, Membrane electrophoresis in relation to bioelectrical polarization effects, *Archives des sciences physiologiques* 3 (1949), 205–219.
- 139 Stadler, *Assembling Life* (wie Anm. 28).
- 140 Zitiert ist Lorente de Nó to Nachmansohn, 26 April 1966, Nachmansohn papers, Box 2, folder L, Columbia University Special Collections, NYC; zu den frühen Kritikern gehörten etwa auch F.O. Schmitt. Vgl. ferner Anm. 41.
- 141 Eccles an Hodgkin, 10. Juni 1949, HDGKN H.15.
- 142 Gerard an Hodgkin, 11. Oktober 1949, HDGKN H.18.
- 143 Vgl. Gaudillière, Normal Pathways (wie Anm. 133).

Anschrift des Verfassers: Dr. Max Stadler, ETH Zürich, Rämistrasse 36, CH-8092 Zürich, E-Mail: max.stadler@wiss.gess.ethz.ch