

CHRISTOPH BORBACH

MEDIEN- ALS TESTGESCHICHTE

Radarentwicklung in den Bell Labs und bei Western Electric

Die Untersuchung der industriellen Fertigung technischer Apparaturen kann als Desiderat der Mediengeschichte gelten.¹ Für diese wurde bisher eine Vielzahl von Aspekten als wissenschaftlich relevant erachtet: u. a. Rohstoffe, Logistik, Lieferketten, Bürokratien, Infrastrukturierungen, Ästhetiken oder Theorien der Medien, aber auch deren Organisation und Dokumentation anhand von Protokollen, Formularen, Standards oder Akten. Allerdings wurde die Produktion sogenannter Massenmedien und das dabei stattgefundenen Testen bislang vernachlässigt. Die zwischen der <Erfindung> von Medien bzw. der Konstruktion erster Prototypen und der massenweisen Verbreitung standardisierter medialer Apparaturen notwendigerweise stattfindende Massenproduktion ist zwar in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Smartphones in den medienwissenschaftlichen Fokus geraten,² wird aber in medienhistorischen Arbeiten und selbst historisch orientierten Production Studies nicht weiter berücksichtigt. Ebenso unterreflektiert bleiben dementsprechend Techniken und Praktiken des Testens während der industriellen Fertigung von Medien. Das erstaunt insofern, als es mitunter erst fortwährende Testungen waren, die Medienproduktionen in actu stabilisierten.

Wie sich eine medien- und wissenshistorische Produktionsstudie ausgestalten kann, die ihren Fokus auf Tests legt, will ich im Folgenden an einer Fallstudie zur industriellen Produktion US-amerikanischer Radare in der ersten Hälfte der 1940er Jahre durch Western Electric Inc.³ (WE) und die Bell Telephone Laboratories⁴ (kurz: Bell Labs) illustrieren. Dabei gilt der Grundsatz: kein Medium ohne seine Produktion, keine Produktion ohne Tests. Dementsprechend wurde «the importance of testing»⁵ bereits von den historischen Akteur*innen von WE und den Bell Labs betont. Denn Testen erwies sich in mehrfacher Weise als kritischer Faktor, etwa der Test der technischen Komponenten des jeweiligen Radars während der Produktion; anschließend der Test der Funktionalität des produzierten Objekts; im Feld das konsequente Testen der Betriebsamkeit des Geräts; im infrastrukturellen Sinn die Testung geeigneter

¹ Ich danke Patrick Vonderau und Max Kanderske für Hinweise und Kritik bei der Ausarbeitung dieses Beitrags.

² Vgl. Richard Maxwell, Toby Miller: *How Green is Your Smartphone?*, Cambridge (UK) 2020.

³ Das Unternehmen produzierte mehr als die Hälfte der US-amerikanischen Radargeräte, vgl. Mervin J. Kelly: *Radar and Bell Laboratories*, in: *Bell Telephone Magazine*, Bd. 24, 1945/46, 221–255, hier 223. Zur Firmengeschichte von Western Electric vgl. Stephen B. Adams, Orville R. Butler: *Manufacturing the Future. A History of Western Electric*, Cambridge (UK) 1999.

⁴ Zur Firmengeschichte der Bell Labs vgl. Jon Gertner: *The Idea Factory. Bell Labs and the Great Age of American Innovation*, New York 2012.

⁵ Frederick R. Lack: *Radar and Western Electric*, in: *Bell Telephone Magazine*, Bd. 24, 1945/46, 283–294, hier 292.

Produktionsstätten; und nicht zuletzt der Test der Logistik der Produktion. Die medienhistorische Suchbewegung dieses Beitrags spürt den dabei ausgeprägten Testumgebungen in ihrer Sequenzialität nach, um die Kontinuität des Testens auch «beyond the laboratory»⁶ strukturell abzubilden: Dabei verläuft die Bewegung vom Test der Produktionsstätten über die Tests während der Produktion in den Fabriken hin zu Tests während des Mediengebrauchs und zuletzt (zurück) ins Labor.

Die enorme Bedeutung von Apparaturen und Praktiken des Testens während der Radarproduktion – und darüber hinaus im Feld und wieder im Labor – ist bereits in den Quellen explizit. Warum gerade die Radarproduktion und -praxis derart für Tests sensibilisiert war, erschließt sich durch eine medienhistorisch-komparative Betrachtung: Bei sämtlichen anderen elektronischen Massenmedien war es seinerzeit evident, wenn sie nicht störungsfrei funktionierten. Beim Radio oder Telefon der 1940er Jahre beispielsweise waren medientechnische Störungen als Rauschen hör-, beim Fernsehen sichtbar.⁷ Beim Radar hingegen waren menschliche Sinne allein nicht hinreichend, die Funktionalität des Mediums oder seiner elektrotechnischen Komponenten zu prüfen. Wenn ein Radarbildschirm keine Ortungsergebnisse visualisierte, konnte dies bedeuten, dass tatsächlich keine ortbaren Objekte im Umfeld des Geräts waren oder dass diese aufgrund eines Defekts nicht geortet wurden – womöglich mit fatalen Folgen. Notwendig wurden Sensoren und Räume, die die einwandfreie Funktionalität der Medientechnik überprüfbar machten, indem einerseits Radargeräte und -module, andererseits ihr Funktionieren in diversen Umgebungen getestet wurden. Erst eine Heterogenität von Testsituationen und -räumen stabilisierte die junge Medientechnik Radar. Von besonderem Interesse sind Radartests, insofern zwar bereits mehrfach von Seiten der Medienkultur- und Technikhistoriografie auf die Bedeutung von Radartechnik, insbesondere für die Entwicklung von Computergrafiken,⁸ -schnittstellen⁹ und -programmen¹⁰ hingewiesen worden ist – nicht jedoch auf die Bedeutung vorgelagerter Tests, die den Erfolg des Mediums in der Praxis bedingten. Bezeichnend ist auch, dass die allermeisten internationalen historischen Arbeiten zum Radar seine Produktion und Testung weitestgehend unberücksichtigt lassen. Diese Prozesse zu untersuchen, ist umso wichtiger, da in einer medienepistemologischen Lektüre die Radarproduktion selbst als Test verstanden werden kann, nämlich als Testung der Produktion elektrotechnischer Medienkulturen, wie ich abschließend zeigen will.

Da die Arbeitsumgebungen der Radarproduktion von Seiten der beteiligten menschlichen Akteur*innen keine umfassende schriftliche – beispielsweise autobiografische – oder gar audiovisuelle Dokumentation erfuhren, dienen mir als Grundlage für die historische Rekonstruktion firmeneigene Publikationen der Bell Labs und von WE. Bei einer solchen bereits institutionell vorgeprägten Materialgrundlage sollte grundsätzlich mit quellenkritischer Sensibilität agiert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Publikationen nicht allein der Repräsentation, sondern auch der Konstruktion und Inszenierung möglichst

⁶ Noortje Marres, David Stark: Put to the Test: For a New Sociology of Testing, in: *The British Journal of Sociology*, Bd. 71, Nr. 3, 2020, 423–443, hier 424.

⁷ Radio sei «self-testing in that reception of intelligible speech or signals frequently constitutes a sufficient check of satisfactory performance», hieß es im Unterschied zum Radar von Ingenieuren der Bell Labs, E. I. Green, H. J. Fisher, J. G. Ferguson: Techniques and Facilities for Microwave Radar Testing, in: *The Bell System Technical Journal*, Bd. 25, Nr. 3, 1946, 435–482, hier 435.

⁸ Vgl. Jacob Gaboury: *Image Objects. An Archaeology of Computer Graphics*, Cambridge (MA) 2021.

⁹ Vgl. Bernard Dionysius Geoghegan: An Ecology of Operations: Vigilance, Radar, and the Birth of the Computer Screen, in: *Representations*, Bd. 147, Nr. 1, 2019, 59–95.

¹⁰ Vgl. Herbert D. Benington: Production of Large Computer Programs, in: *Annals of the History of Computing*, Bd. 5, Nr. 4, 1983, 350–361.

organisierter und strukturell funktionaler Produktions- und Testumgebungen dienten und mithin die potenzielle *messiness* jener Umgebungen strategisch verschwiegen wurde. Bezeichnend ist jedoch, dass es diese Quellengrundlage gibt. Denn Publikationen von Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, die sich detailliert den Komplikationen der Testung und Massenproduktion jeweils neuer elektrotechnischer Module und Prototypen widmen, stellen eine Ausnahme dar – schließlich thematisieren sie gerade nicht die eigentlichen institutionellen Forschungs- und Entwicklungsleistungen, sondern ihre nachgelagerten Produktionsarbeiten und -logistiken. Für den hier untersuchten Fall liegt das darin begründet, dass sich die Radarindustrie aufgrund der strategischen Vorteile, die das Medium im Feld bescherte, vor allem in den USA derart rapide entwickelte, dass binnen kürzester Zeit neue Produktions- und Teststrukturen implementiert wurden. Deswegen ist über diese ausführlicher berichtet worden, als dies der Fall ist, wenn sich Neuerungen derart langsam realisieren, dass sie nicht mehr neu erscheinen.

Testen I – Produktionsstätten & Subunternehmen

Die sogenannte Tizard Mission, eine Delegation britischer Forscher, die im September 1940 die USA erreichte und in einer besonderen Form von Technologietransfer ein Magnetron zur Erzeugung leistungsstarker Zentimeterwellen mitführte, wirkte als Katalysator auf die US-amerikanische Radarentwicklung. Der ehemalige Forschungsleiter der Bell Labs Mervin Joe Kelly schrieb, es seien die «tests» dieses Magnetrons und die aus ihnen resultierenden Forschungsprogramme und -institute gewesen, die bewirkten, dass die US-amerikanische Radarforschung und -entwicklung «at an unparalleled rate» expandierte.¹¹ So wurde am Massachusetts Institute of Technology bereits im November 1940 das Radiation Laboratory (Rad Lab) gegründet, das mit seinen schließlich 4.000 Mitarbeitenden¹² vollumfängliche Radar-Grundlagenforschung institutionalisierte und forcierte. Forschungseinrichtungen sind jedoch in den seltensten Fällen zugleich industrielle Fertigungsbetriebe, weshalb die Grundlagenarbeit des Rad Lab andernorts zu Massenmedien werden sollte. Nur wenige Firmen bekamen das Privileg dieser Produktion zugesprochen. Im Falle des US-amerikanischen Radars war dies zum Großteil das mit den Bell Labs kooperierende und für sie produzierende Unternehmen WE.

«The growth of radar industry, which scarcely existed before 1940», so urteilte der stellvertretende Direktor des Rad Lab Louis N. Ridenour in der Retrospektive, lasse sich anhand von Zahlen belegen: Bis zum Juni 1945 wurden Radargeräte im Wert von rund 2,7 Mrd. Dollar an die US Army und Navy ausgeliefert; zu diesem Zeitpunkt wurden in den USA *monatlich* Radargeräte im Wert von über 100 Mio. Dollar (das entspräche heute etwa 1,7 Mrd. US-Dollar) produziert.¹³ WE allein stellte nach eigenen Angaben im Kriegsjahr 1943 Radare im Wert von 340 Mio. Dollar her, im Zweiten Weltkrieg

¹¹ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 234.

¹² Vgl. Louis N. Ridenour: Wartime Radar Development in the United States, in: ders. (Hg.): Radar System Engineering, New York 1947, 15–17, hier 17.

¹³ Ebd.

insgesamt Radargeräte im Wert von annähernd 900 Mio. Dollar.¹⁴ «[T]he technical achievement represented by the wartime development of radar», so führte Ridenour weiter aus, «seems very nearly unparalleled.»¹⁵ Die radarbezogenen Zahlen erscheinen noch enormer, wenn sie institutionshistorisch kontextualisiert werden: Alle elektronischen Geräte, die für das Bell System zwischen 1915 und 1940 produziert wurden, hatten ein finanzielles Volumen von gerade einmal 50 Mio. Dollar.¹⁶ Damit hatte sich die Radarindustrie, die eine «new industry» darstellte, insofern sie wenige Jahre zuvor schlichtweg nicht existierte, binnen weniger Jahre derart rapide entwickelt, dass sie 1945 die Autoindustrie quantitativ überholt hatte¹⁷ – von der industriellen Fertigung anderer Medien wie Radios oder Fernseher ganz zu schweigen.

Medien- und wissenshistorisch bedeutsam für eine Fokussierung auf Tests sind jene außerordentlichen Zahlen insbesondere vor dem Hintergrund, dass die neue Radarindustrie erst adäquate Strukturen etablieren musste, um derartige Mengen elektronischer Medien produzieren zu können. Besonders war das auch deshalb, weil die Radarproduktion mit Auflagen versehen wurde, wie sie die zivile Medienproduktion nicht betrafen. Die neue «billion-dollar industry» war «surrounded by a wall of secrecy»,¹⁸ sie hatte im Geheimen stattzufinden und durfte nicht an ein Netzwerk privater Unternehmen mit eigenen Produktionsstätten ausgelagert werden. Um zu verstehen, warum die Massenproduktion dennoch gelingen konnte, ist ein Blick in die Prozesslogik der Produktion notwendig: Nachdem im Rad Lab eine neue Radargrundlage erforscht worden war, wurde in den Bell Labs für diese ein «development model» konstruiert.¹⁹ Dabei wurde eine Vielzahl elektrotechnischer Komponenten – darunter Magnetrons, Oszillatoren, Impulsgeneratoren, Bildschirme und Verstärkerrohren – konstruiert, getestet, prototypisiert, verbessert, erneut getestet und schließlich standardisiert. Erst auf Basis eines solchen Modells wurde an WE ein Produktionsauftrag erteilt.

Für WE bedeutete diese Modularisierung der Produktion, dass die Herstellung einzelner Komponenten an Zulieferer ausgelagert werden konnte, um die Massen an Material überhaupt bereitstellen zu können. Trotz der kriegsbedingt geheimen Produktion von Radaren war dies erlaubt, betraf es doch nur einzelne Module. WE begutachtete über 6.000 Hersteller technischer Geräte im Umkreis jeder größeren WE-Produktionsstätte, um festzustellen, was diese produzierten, und die in Frage kommenden Produkte wurden wiederum auf ihre Tauglichkeit für etwaige Radareinsätze getestet. Aufgrund der starken Modularisierung von Radargeräten stellte sich heraus, dass scheinbar radarferne Betriebe durchaus geeignete Radarmodule bauen konnten: Ein Hersteller von Spielautomaten lieferte eine leichte Präzisionsantenne für Radare in Flugzeugen; ein Hersteller von Metallschränken fertigte Gehäuse für die Verwendung von Radaren auf Schiffen; den Antrieb für eine Präzisionsantenne eines Bodensradars lieferte der Hersteller von Waschmaschinen; und weiterhin, so berichtete Frederick R. Lack, ein Vorsitzender von WE:

¹⁴ Vgl. Lack: Radar and Western Electric, 284.

¹⁵ Ridenour: Wartime Radar Development, 17.

¹⁶ Vgl. Kelly: Radar and Bell Laboratories, 247.

¹⁷ So urteilte L. A. DuBridge in einer Selbsthistorisierung der Forschung des Rad Lab, L. A. DuBridge: History and Activities of the Radiation Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology, in: *Review of Scientific Instruments*, Bd. 17, Nr. 1, 1946, 1–5, hier 3.

¹⁸ James Phinney Baxter: *Scientists Against Time*, Boston 1946, 142.

¹⁹ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 248.

A producer of pots and pans made tail sections for the bomb-shaped radar carried beneath the wings of air fighters. The metal frame for this same radar came from the shop of a bicycle manufacturer in Chicago. Finely made mechanical parts came, surprisingly enough, from a nationally known cereal firm, which maintains a precision machine shop for the peacetime production of packaging machinery.²⁰

Die bloße Delegation an Subunternehmen durch WE reichte für die Massenproduktion von Radaren allerdings nicht aus. Der aufgrund der extensiven Radarproduktion während des Zweiten Weltkriegs enorm wachsende Bedarf an Spulen konnte so beispielsweise nicht gedeckt werden. WE richtete daher eine provisorische Spulen-Fabrik in einer ehemaligen Schuhfabrik in Haverhill, Massachusetts, ein, die binnen kürzester Zeit eine Belegschaft von 2.000 Angestellten aufwies. Insgesamt eröffnete WE 16 neue Fabriken, um die Produktion der gesteigerten Nachfrage an Radarmodulen anzupassen, was aufgrund des Zeitdrucks – wie im Falle der Schuhfabrik – mitunter zur zweckentfremdenden Einrichtung von Produktionsstätten führte, wie Lack weiter darlegte:

Ex-garages, warehouses, engine-parts plants – almost any building with a roof that did not leak, or which had one that could be repaired – qualified as a radar shop if the community could provide people enough to staff it with workers.²¹

«[R]adar work» basierte mithin auf einem «industry-wide team play».²² In der Praxis prägte dies für WE neue Formen von Arbeit aus: nämlich die infrastrukturelle Organisation von verteilter Produktion, um vorgegebene Zeitpläne und Auslieferungen von Radargeräten exakt einzuhalten. Getestet wurden also zunächst die infrastrukturellen Möglichkeiten der Produktion selbst.

Testen II – in den Fabriken

Darüber hinaus galt es in den jeweiligen Fabriken von WE diverse Tests an einzelnen Komponenten, verschalteten Modulen und schließlich am zusammengebauten Radargerät vorzunehmen. Evident wird die Komplexität der industriellen Radarproduktion, wenn man die modulare Ebene des Mediums fokussiert: Radare bestanden aus bis zu 7.000 Einzelteilen. Um dies zu verdeutlichen, wurde von den Bell Labs eine Fotografie angefertigt, welche die technische Komplexität eines Radargeräts – und damit implizit die notwendige Fertigkeit der Mitarbeitenden,

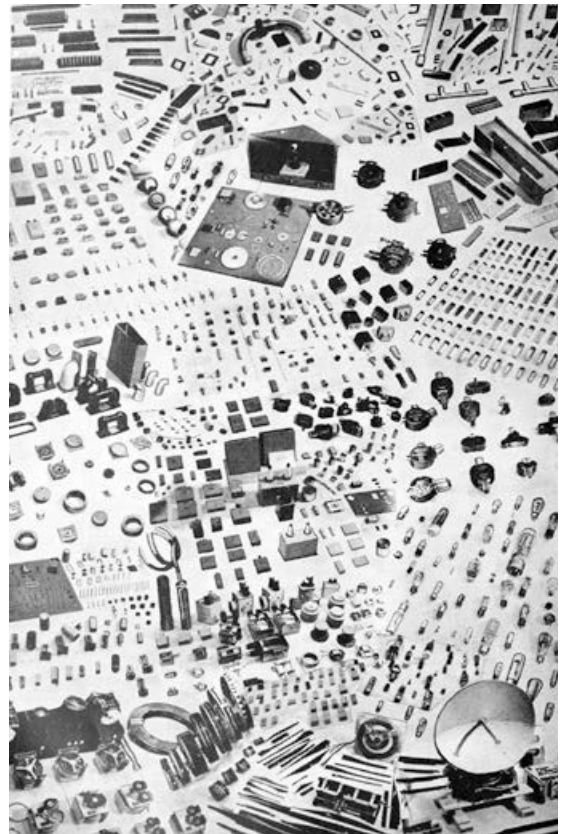


Abb. 1 Inszenierung der Einzelteile eines Radargeräts

²⁰ Lack: Radar and Western Electric, 290f.

²¹ Ebd., 289.

²² Ebd., 291.



Abb. 2 Industrielle manuelle Fertigung von Radaren durch WE-Arbeiterinnen

mithin gezielt die eigene elektrotechnische Expertise – illustrierte (vgl. Abb. 1). Von ihrer Produktion her besehen waren Radare zuvor-
derst ein aus zahlreichen, oft kleinen zu verbauenden Bestandteilen bestehendes Konglomerat, das in der Praxis als Black Box Funktionalität entfalten konnte. Insofern es nahezu jedes der 7.000 Einzelteile nicht nur zu verschalten, sondern zu testen galt, bedeutete die Produktion von Radaren somit vornehmlich eines: Handarbeit für eine Vielzahl an Mitarbeitenden. Ein Foto von WE-

Mitarbeiterinnen, die an der Fertigung von Radaren beteiligt waren (vgl. Abb. 2), gab einen öffentlichen, dabei aber von den Bell Labs und WE gezielt stilisierten Einblick in diese exklusiven Arbeits-, Produktions- und Testumgebungen: Die Verwendung deutlicher Fluchtlinien verleihen dem fotografierten Produktionsraum den Eindruck von Ordnung. Es ist davon auszugehen, dass durch die deutlichen Konturen in der Bildsprache auch die Produktionspraxis als wohlstrukturiert konturiert werden sollte. Ob bzw. in welchem Ausmaß das Foto inszeniert wurde und ob die Mitarbeiterinnen mit ihrer Ablichtung einverstanden waren, ist nicht zu klären.

Allein die verwendeten Röhren – pro Radargerät wurden zwischen 50 und 250 Röhren verbaut – wurden während der Produktion mehrfach getestet: So wurde jede gefertigte Röhre auf ihre Funktionalität geprüft. Stichproben eines jeden Typs wurden zudem darauf getestet, ob die Qualitätsstandards der Produktionsreihe eingehalten wurden. Zusätzlich wurden einige Röhren einer jeden Baureihe Schock- und Temperaturtests unterzogen. Denn bereits *ein* defektes Bauteil hätte mitunter ein ganzes Radargerät betriebsuntauglich gemacht, wie von Seiten der Bell Labs betont wurde:

By all these tests the important electrical properties of the tube are under constant scrutiny and the danger of shipping defective tubes is minimized. The importance of adequate testing can hardly be over-emphasized, as a defective TR [transmit-receive] tube may render a whole radar system inoperative.²³

Bruno Latour bescheinigte bekanntermaßen dem Overheadprojektor nicht nur, erst im Moment seines Defekts sichtbar zu werden, sondern dabei seine Gestalt zu wandeln, insofern sich das Gerät bei seiner Öffnung als Assemblage diverser Einzelteile offenbare – als ein «Gewimmel von Einzelteilen».²⁴ Aus der hier eingenommenen Perspektive einer historischen Produktionsstudie gilt es, neben der Frage, *wann* Medien ihre phänomenologische Gestalt ändern – «Erst die

²³ Members of the Technical Staff of Bell Telephone Laboratories (Hg.): *RADAR Systems and Components*, Toronto u. a. 1949, 352.

²⁴ Bruno Latour: Ein Kollektiv von Menschen und nichtmenschlichen Wesen. Auf dem Weg durch Dädalus' Labyrinth, in: ders.: *Die Hoffnung der Pandora*, Frankfurt / M. 2002, 211–264, hier 224.

Krise macht uns die Existenz des Gerätes wieder bewußt», schrieb Latour²⁵ – ebenso danach zu fragen, *für wen Medien wann wie* erscheinen. Radare waren aus Perspektive ihrer Produzent*innen fortwährend ein solches <Gewimmel>, das es zu testen, zu organisieren und zu verschalten galt, und zwar nicht erst in Krisensituationen, sondern als Teil des routinisierten Arbeitsalltags. Insofern schon eine defekte Komponente das ganze Radargerät unbrauchbar machen konnte, bestand auf modularer Ebene der Elektrotechnik die von der Akteur-Netzwerk-Theorie betonte Handlungsmacht der Dinge hier insbesondere in der Macht zu stören. Ihr konsequentes Testen erwies sich als Eindämmung ihres Störungspotenzials.

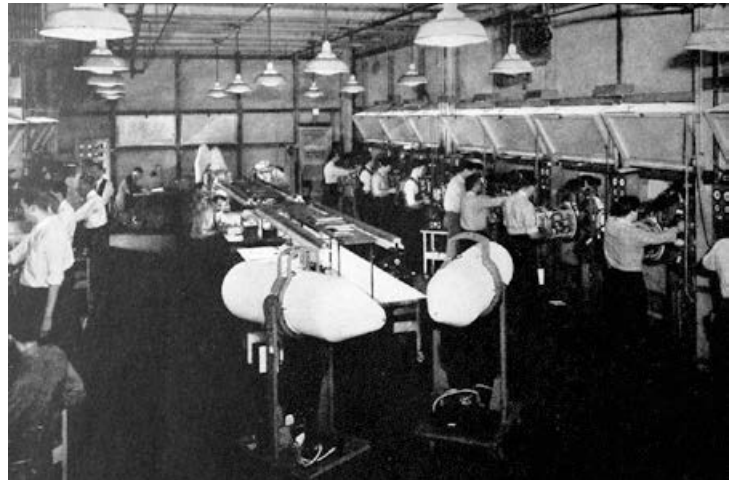


Abb. 3 Radar-Testraum von WE nahe Chicago, Innenansicht

Der Faktor Zeit war dabei in mehrfacher Weise kritisch. Dies galt etwa im Hinblick auf Produktionszeiten, insofern sich die Radarforschung während der Kriegsjahre so rapide entwickelte, dass es nicht das eine ideale Radar gab, sondern eine Vielzahl variierender Ausfertigungen, die sich jeweils nach dem aktuellen Stand der verwendeten Frequenzen und Wellenlängen zu richten hatte. Zwischen 1940 und 1945 wurden allein in den Bell Laboratories über 200 verschiedene Radar-Prototypen entwickelt und konstruiert. Dabei sah sich die Radarproduktion immer mit dem Problem konfrontiert, dass aufgrund des extremen Forschungstempos ein aktuell getesteter Prototyp schon während seiner Testphase aus technischem Blickwinkel wieder als veraltet erscheinen konnte.²⁶ In der Konsequenz wurden Prototypen und ihr Testgerät parallel entwickelt. Die Entwicklung neuen Testgeräts war daher essenziell, weil sie die industrielle Produktion neuer Radare in den Fabriken beschleunigte.²⁷

Tests beschränkten sich in den Fabriken nicht auf einzelne Bauteile, sondern betrafen ebenso zusammengesetzte Module. Schließlich wurde das zusammengebaute Gerät wiederholt getestet, wie ein historisch-fotografischer Blick in den *final test room* des ASH-Radars von WE zeigt (Abb. 3). Dabei wurde das zusammengebaute technische Objekt auf seine Funktionalität hin überprüft: aus dem Testraum heraus (in der Abbildung rechts) wurde die Stadtlandschaft von Chicago per Radar detektiert (vgl. Abb. 4, Außenansicht des Testraums mit den Radoms, d.h. den Radarkuppeln). Emblematisch zeigen die Fotografien das Testen als professionalisierte Praxis menschlicher Akteur*innen, die fest in deren Arbeitsalltag verankert war. Wie im Falle der vorigen Abbildungen weisen die Fotografien bildsprachlich deutliche Fluchtlinien auf, die der Testumgebung wohl den Eindruck von Ordnung verleihen sollten. Darüber hinaus artikuliert

²⁵ Ebd., 233.

²⁶ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 251.

²⁷ Vgl. F. P. Wight: Production of Airplane Radar Speeded by New Testing Technique, in: Bell Laboratories Record, Bd. 24, Nr. 9, 1946, 330–334.

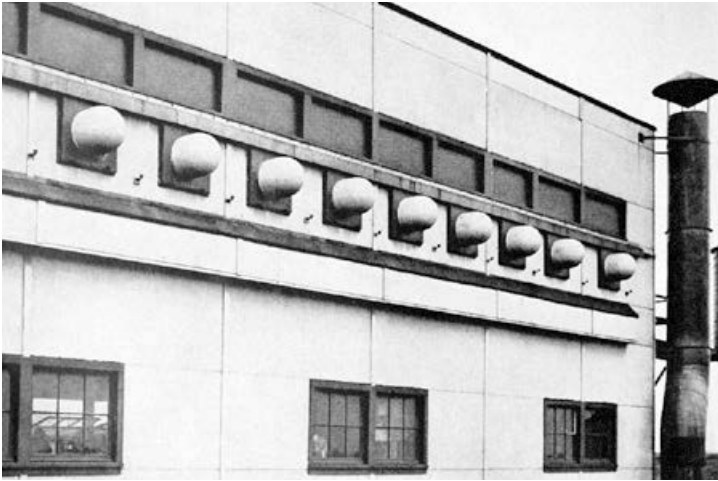


Abb. 4 Außenansicht des Testraums

sich in ihnen der epistemische Gehalt des Testens als Praxis: Erst in dieser Testumgebung wurde nach erfolgreicher Detektion von Referenzobjekten das technische Objekt zum funktionalen Radar erklärt. Der erfolgreiche Test transformierte ein zusammengebautes <Gewimmel> technischer Komponenten in ein Medium. Bereits im historischen Kontext wurde dieser epistemische Wert des fortwährenden Testens explizit. Denn ein Radar, so kommentierte der bereits zitierte Lack, <remains an inert mass of parts until

its various circuits have been carefully combed by ingenious test sets and subjected to the scrutiny of the expert testers who operate them>.²⁸ Hier, am Ende der Ko-Operationskette der Fabrikation, hatte sich qua Test zu beweisen, ob überhaupt produziert worden war, was produziert werden sollte. Mit Lawrence Busch gesprochen galt die Maxime: <[T]ests and testing apparatus [...] determine <what counts>>²⁹ – Tests bestimmten, was als Medium zählte.

Um technische Radarkomponenten in der im Krieg erforderlichen Größenordnung verschalten und testen zu können, war bei WE eine enorme Vergrößerung der Belegschaft notwendig. Da Produzieren und Testen seinerzeit an manuelle Fertigkeiten gekoppelt waren, bedeutete eine Steigerung der Produktion eine entsprechende Steigerung des Personals. 1940 verfügte WE über circa 43.500 Mitarbeitende. Im August 1944 waren es annähernd 97.500, von denen 60 Prozent Frauen waren – zum Vergleich: Im Jahr 1941 lag der Anteil von Mitarbeiterinnen bei WE bei 20 Prozent.³⁰ Ohne eine massive Neueinstellung weiblicher Arbeitskräfte in der Radarproduktion und -testung wäre das Radar als US-amerikanisches Massenmedium nicht realisierbar gewesen.

Testen III – im Feld

Nach der Produktion war das Testen des Radargeräts keinesfalls abgeschlossen. Testen als Praxis gestaltete sich rekursiv oder zumindest iterativ aus; so wurde das Medium auch im Einsatz fortwährend Testsituationen ausgesetzt. Wie bereits eingangs erwähnt, galt es beispielsweise wiederholt zu überprüfen, ob die Ortungsradien von Radaren etwaig eingeschränkt waren, wofür menschliche Sinne allein nicht ausreichend waren. Dieser Test war Angelegenheit einer elektrotechnisch verfassten Praxis mit der in den Bell Labs entwickelten *echo box* zur Testung des Zentimeterwellen-Radars. Derartige Echoboxen *simulierten* Radarortungen, womit die <performance> des gesamten Radars getestet wurde.³¹

²⁸ Lack: Radar and Western Electric, 292.

²⁹ Lawrence Busch: *Standards. Recipes for Reality*, Cambridge (MA), London 2011, 12.

³⁰ Vgl. Lack: Radar and Western Electric, 290.

³¹ Green u. a.: *Techniques and Facilities for Microwave Radar Testing*, 458.

Was die Echoboxen programmatisch illustrieren, ist die zugrunde liegende notwendige Formalisierung dessen, *was* ein Radartest eigentlich testet. Bereits Alfred Binets (1857–1911) und Théodore Simons (1873–1961) epistemische Leistung in der Begründung der modernen Psychometrie und Entwicklung originärer Intelligenztests lag zuvorderst in der Formalisierung dessen, was diese Tests eigentlich messen sollten, und was mithin als <intelligent> gelten durfte. Damit Intelligenz die «Form eines stabilen, zunehmend wichtigeren Referenzobjekts» annehmen konnte,³² entwickelten Binet und Simon mediales Testmaterial wie Lückentexte, zu erinnernde Bilder sowie Fragebögen, die psychische Leistungen <Minderbegabter> in vermeintlich objektivierbare Daten überführten, um diese zu klassifizieren.³³ Ähnlich verhielt es sich bei den Echoboxen: Da die Funktionalität eines Radars im Feld nicht sinnlich geprüft werden konnte, mussten Beobachtungsmedien zweiter Ordnung technische Funktionalität erst quantifizieren, d.h. in eine messbare Größe überführen, die dann letztlich – wie das Ergebnis eines Intelligenztests – sichtbar war.

Die Echoboxen illustrieren zudem eine größere Notwendigkeit: Testgeräte mussten ebenso schnell entwickelt und produziert werden, wie die Radarforschung auf stetig kürzere Wellenlängen wechselte. Damit bedingten sich Radarentwicklung und die Entwicklung adäquater Tests gegenseitig, wie von Seiten der Bell Labs attestiert wurde:

Radar test-set technology had to be kept in step with the rapidly moving radar systems development. This could only be done by a most intimate association of test-set development with systems development. The pattern of the test-set work became substantially the same as that for the systems themselves.³⁴

Test sets, obgleich selbst nicht Bauelemente des Mediums, wurden zur Notwendigkeit, die Funktionalität des Mediums in der Praxis zu gewährleisten. Testgeräte wurden zu einem unverzichtbaren Teil der Infrastruktur des Mediums. Die Maxime in der Entwicklung von Testgeräten bei den Bell Labs lautete, dass diese dazu geeignet sein sollten, im Feld möglichst viele Radare unter verschiedenen Bedingungen zu testen. Als zentral definiert wurden *broadbanding* – die Entwicklung von Testgerät für breite Frequenzbänder –, *precision* – das Testgerät zur Testung von Radarperformanz musste präziser arbeiten als die Radare selbst –, *packaging-size and weight* – die Transportabilität bei gleichzeitiger Robustheit musste gewährleistet sein –, *environmental influences* – größtmögliche Immunität gegen umweltliche Faktoren wie sehr hohe als auch sehr niedrige Temperaturen, starke Feuchtigkeit, Regen oder Sandstürme – und *simplicity, reliability, accessibility* – bei aller erstrebten Exaktheit des Testgeräts sollte es mit einem Minimum an Spezialfertigkeiten bedient werden können und möglichst wartungsfrei sein.³⁵ Erschöpfend aufzuzählen, was beim Radar genau getestet wurde, würde an dieser Stelle zu sehr in elektrotechnische Details führen. Wichtig festzuhalten ist, dass alles, was für Radargeräte galt, auch bei der Konstruktion und beim Bau seines Testgeräts berücksichtigt wurde – nur noch feinskalierter.

³² David Keller: *Person und Form. Eine Medien- und Wissensgeschichte der Persönlichkeitsdiagnostik*, Tübingen 2021, 285.

³³ Vgl. Alfred Binet, Théodore Simon: *Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux*, in: *L'Année Psychologique*, Bd. 11, 1904, 191–244.

³⁴ Kelly: *Radar and Bell Laboratories*, 250 f.

³⁵ Vgl. Green u. a.: *Techniques and Facilities for Microwave Radar Testing*, 439–441.

Bedeutsam an der Testung von Radargerät im Feld erscheinen mir zudem zwei Aspekte. Erstens folgten die Ingenieure der Bell Labs den Radargeräten ins Feld, um sie dort fortwährend zu testen und zu warten: «[They] went to the Tropics, to the Arctic, in planes to 20,000 feet altitude, to the sea in ships of many classes, and under its surface in submarines.»³⁶ Denn obgleich die möglichst intuitive Bedienung von Testgerät eine Konstruktionsmaxime war, konnte diese nicht vollumfänglich realisiert werden, sodass professionalisierte Akteure diese vornehmen mussten. Zweitens wurden manche Radare ausschließlich ins Feld geschafft, um dort als Referenzobjekte zu dienen, da sie als Indikator der Auswirkung der verschiedenen Umwelten auf das technische Gerät fungierten. Es galt mithin zu prüfen, ob ein Radar «functions about the same in the tropics as it does in the States».³⁷ Mit diesem Plädoyer für eine situierte Testpraxis wurde der Einsatz im Feld als erweitertes Labor interpretiert, da für die seinerzeit neue Medientechnik keine Referenzdaten in Bezug auf Funktionalitäten in unterschiedlichen klimatischen Umgebungen vorlagen. Erst in der Praxis entschied sich demnach, ob sich im Radar eine neue Wahrnehmungstechnologie materialisierte oder ob es ein Testgerät darstellte. Diese heterogenen Operationsumgebungen der Medienpraxis transformierten die Testpraxis in einem rekursiven Prozess, da die heimischen Testlabore der Bell Labs auf die Umgebungen der Praxis hin angepasst wurden – *nach* dem Praxistest.

Testen IV – zurück ins Labor

Es stellte sich heraus, dass die umweltlichen Einflüsse und die situierten Verwendungsweisen des technischen Geräts anfangs in den Testlaboren der Bell Labs nicht antizipiert wurden, oder wie der Forschungsleiter Kelly anmerkte: «It soon became evident that knowledge of user requirements was inadequate.»³⁸ Das technische Gerät verhielt sich auf einer tropischen Pazifikinsel mit hoher Luftfeuchtigkeit anders als in der Kälte der Arktis oder beim niedrigen Luftdruck in einer Flughöhe von 20.000 Fuß. Waren die Labore der frühen Radarindustrie der Umwelt gegenüber tendenziell abgegrenzte, autarke Räume, galt es nunmehr, die Operationsumgebungen der Radarpraxis in die Labore zu holen, d.h. diese dort zu simulieren.

So wurde in einem Labor der Bell Labs ein Raum zur Erzeugung unterschiedlichster Temperaturen, «ranging from the bitter cold of polar nights to the humid swelter of the jungle», eingerichtet.³⁹ In dieser *weather box* konnte das Verhalten von Radargeräten in unterschiedlichen Klimazonen getestet werden – ohne diese Umgebungen tatsächlich besuchen zu müssen. Die Praxisräume des Radars unterschieden sich allerdings nicht nur klimatisch, sondern auch hinsichtlich weiterer Umgebungsfaktoren. Waren stationäre Bodenradare nur bedingt Erschütterungen ausgesetzt, erwies sich auf den Meeren das Verhalten des Wassers als kritische ökologische Bedingung, da starker Wellengang Defekte in Schiffsradaren verursachen konnte. Folgerichtig wurden von den

³⁶ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 249.

³⁷ O. A.: Blow Hot – Blow Cold. The M-g never failed, in: Bell Laboratories Record, Bd. 24, Nr. 12, 1946, 454–456, hier 455.

³⁸ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 249.

³⁹ O. A.: Radar: A Story in Pictures, in: Bell Telephone Magazine, Bd. 24, 1945/46, 257–282, hier 262.

Bell Labs Testapparaturen entwickelt, die die Auswirkungen eines mitunter enorm schwankenden Bodens auf Radargeräte evaluierten – im trockenen Umfeld eines Labors (vgl. Abb. 5).

In den Medienlaboren der US-amerikanischen Industrieforschung, so hält Nadine Taha fest, herrschte ein Arbeitsalltag «wie jeder andere»: Das Entstehen neuer technischer Mittel war nicht nur an fortlaufende Zweckentfremdungen und Adaptionen gekoppelt, sondern zeichnete sich durch konsequentes Improvisieren aus.⁴⁰ Bezeichnend

dabei ist, dass dementsprechend selbst improvisierte Innovationen von «firmen-internen PR-Abteilungen beharrlich als Pionierleistung vermarktet» wurden.⁴¹ In höchstem Maße gilt dies etwa für die Fotografie der abenteuerlich anmutenden Testumgebung zur Simulation des Radareinsatzes auf hoher See: Obgleich sperrig und wie ein Provisorium anmutend, wurde der Hochseetest im trockenen Labor im *Bell Telephone Magazine* als Novum stilisiert. Denn der Praxistest, der zuvor in der Arktis, in den Tropen, in der Luft, auf oder unter dem Wasser stattfand, konnte nunmehr in heimischen Laboren simuliert werden.

Vor dem Hintergrund der hier rekonstruierten Rolle von Tests im Kontext der Radarproduktion bei WE und in den Bell Labs in der ersten Hälfte der 1940er Jahre ist es mehr als eine medienhistorische Fußnote, dass ein früher, wenn nicht der erste explizit so genannte *digital computer* als Testequipment praktisch eingesetzt wurde. Denn bemerkenswert am von George Robert Stibitz entwickelten *relay interpolator*⁴² war, dass das Testen genuiner Zweck des Computers war.⁴³ Der zuvor bei den Bell Labs angestellte Ingenieur Stibitz wurde zum Beginn des Zweiten Weltkriegs an das National Defense Research Committee (NDRC) verliehen. Dort wurde das – auf Vorschlag von u. a. Kelly von den Bell Labs realisierte – automatisierte Feuerleitsystem M-9 getestet. Zu prüfen war, ob das radargestützte M-9 tatsächlich automatisch so funktionierte, als ob ihm manuell Daten eingegeben würden. Hierfür gab es *dynamic testers*, die allerdings auf eine Vielzahl von Daten angewiesen waren, die der Berechnung bedurften: Sie bestanden aus einer Serie von Punkten der Flugkurve eines fiktiven anfliegenden Objekts. Das Testgerät benötigte über 20 dieser Punkte pro simulierter Sekunde, die es auf Papier zu codieren galt. Um ein neues M-9 hinreichend zu testen, waren rund 60 mehrminütige Flugbahnen notwendig, oder anders formuliert: «The testing of anti-aircraft equipment demanded enormous amounts of computation»,⁴⁴ nämlich über 1.000.000 auf

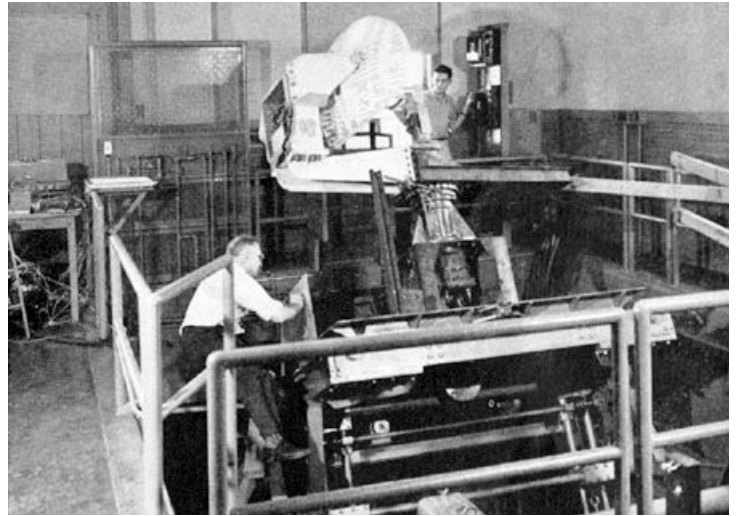


Abb. 5 Eine *testing machine* simuliert den Hochsee-Einsatz eines Radars im trockenen Labor

⁴⁰ Nadine Taha: Im Medienlabor der US-amerikanischen Industrieforschung. Die gemeinsamen Wurzeln von Massenmedien und Bürokratie 1870–1950, Bielefeld 2022, 8.

⁴¹ Ebd., 9.

⁴² Das Gerät stellte als Modell II eine Verbesserung seines bereits ab 1937 konstruierten *complex number calculator* dar.

⁴³ Es mag daher kaum erstaunen, dass die Sensibilität gegenüber Testungen Stibitz dazu bewegten, ein eigenes Instrument zum Test der Relais des Computers einzureichen, vgl. George Robert Stibitz: *Relay Testing System*, US-Patent-Nr. 2.369.619, eingereicht am 7.5.1942, veröffentlicht am 13.2.1945.

⁴⁴ George Robert Stibitz: The Relay Computers at Bell Labs. Part Two: Those were the Machines, in: *Datamation*, Mai 1967, 45–49, hier 47.

Lochstreifen zu codierende Punkte.⁴⁵ Hier wurde Stibitz' im September 1943 in Betrieb genommener *digital computer* relevant: Wurden nur einige Punkte der simulierten Flugbahn kalkuliert, berechnete (bzw. interpolierte) der Computer die restlichen dazwischenliegenden Punkte.⁴⁶

Durch eine Reihe von Memoranden über den *relay interpolator* popularisierte Stibitz den Begriff des Digitalcomputers und die Opposition digital/analog 1943 am NDRC. Nicht nur begriffsgeschichtlich besonders ist, dass Stibitz in diesem Kontext bereits in einem Memorandum von 1942 den *digital computer* – in Abgrenzung von der damals üblichen Bezeichnung *pulse computer*⁴⁷ – derart theoretisierte, dass er eine prototypische Medientheorie des Digitalen antizipierte, die ex negativo, in Abgrenzung vom Analogen, argumentierte. Stibitz formalisierte das Digitale bereits als binär und konzipierte als <digital> insbesondere die Art der Datenverarbeitung, basierend auf *number trains*.⁴⁸ Mag es nicht erstaunen, dass das Testen im historischen Kontext dieses Beitrags neben der Verwendung elektrotechnischen Geräts genuin an händische Fertigkeiten gekoppelt war, deutet sich hier eine tendenzielle Delegation des Testens an Agenten *in silico* an.

Fazit – Test bestanden

Mit Software-spezifischen Begriffen gesprochen fanden während der Radarproduktion <Modul-> bzw. <Komponententests> statt – die Testung der Einzelteile – sowie anschließend <Systemtests> in den Operationsräumen der Radargeräte, die als erweiterte Testumgebung interpretiert wurden. Anders als beim Testen von Software manifestierten sich die Ökologien der Praxis rekursiv in neuen Apparaturen der Testung: Die im Feld identifizierten Widerstände verlangten nach einer Anpassung von Labortests, um die Bedingungen des Feldes zu simulieren.

Komponenten- und Gerätetests als Teil von Qualitätskontrollen kamen nicht erst im Zweiten Weltkrieg auf, weder in den Bell Labs noch den USA allgemein.⁴⁹ Dass die Zeitgenoss*innen mit Blick auf das Radar «the importance of testing»⁵⁰ deutlich konturierten, ist dennoch kein Zufall. Was der seinerzeit neuen Medientechnik erst institutionelle, technologische und produktionselle Stabilität verlieh, waren konsequente Tests: Tests neuer Prototypen, immer neuer Standards, neuer Module, neuer Wellenlängen, fortwährende Tests neuer Radare während und nach ihrer Produktion und vor allem Tests der Labortests selbst. All dieses Testen erwies sich als notwendig, damit sich die noch junge und daher im steten Wandel befindliche Massenproduktion von Radaren konsolidieren konnte.

Interessant am Verhältnis von Umgebungen und Tests ist aus einer medienepistemologischen Perspektive zudem, dass die Radarproduktion selbst eine praktizierte, ko-operative Testumgebung darstellte: namentlich für die erfolgreiche Stabilisierung originär provisorischer Ko-Operationen zur massenweisen

⁴⁵ Vgl. David A. Mindell: *Between Human and Machine. Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics*, Baltimore, London 2002, 302.

⁴⁶ Ausführlicher zur technischen Formalisierung des Rechnens des Computers vgl. O. Cesario: *The Relay Interpolator*, in: *Bell Laboratories Record*, Bd. 24, Nr. 12, 1946, 457–460.

⁴⁷ Vgl. Paul E. Ceruzzi: *Electronic Calculators*, in: William Aspray (Hg.): *Computing Before Computers*, Ames 1990, 223–249, hier 247.

⁴⁸ Vgl. Robert Dennhardt: *Die Flipflop-Legende und das Digitale*, Berlin 2009, 152–158. Vertiefend zu Stibitz' Arbeiten und seiner Terminologie vgl. Ronald R. Kline: *Inventing an Analog Past and a Digital Future*, in: Thomas Haigh (Hg.): *Exploring the Early Digital*, Cham 2019, 19–39.

⁴⁹ Vgl. S. B. Littauer: *The Development of Statistical Quality Control in the United States*, in: *The American Statistician*, Bd. 4, Nr. 5, 1950, 14–20; Paul J. Miranti: *Corporate Learning and Quality Control at the Bell System, 1877–1929*, in: *The Business History Review*, Bd. 79, Nr. 1, 2005, 39–72.

⁵⁰ Lack: *Radar and Western Electric*, 292.

Produktion von technischem Gerät. Primäres Anliegen der Prozesslogiken der Testung war selbstredend die Verfertigung funktionaler Radare. Die damit verbundene Infrastruktur prägte darüber hinaus industrielle Arbeitsumgebungen mit den für diese notwendigen institutionellen Kooperationen, logistischen Liefer- und kapitalistischen Wertschöpfungsketten aus, die Anfang der 1940er Jahre einer Orchestrierung nahezu chaotischer Zustände geglichen haben muss – sich aber durch konsequentes, iteratives und rekursives Testen stabilisieren konnte. Dadurch etablierte sich eine in ihrer Qualität und ihrem Umfang so neuartige Medienproduktion, dass diese einen Paradigmenwechsel nach sich zog: Die Radarindustrie wurde zum Modell für strukturell erfolgreiche «coordination and cooperation»⁵¹ in der Herstellung ungeheurer Mengen an elektrotechnischem Gerät. Das Radar evozierte mithin nicht nur eine Elektrotechnisierung der Kriegsführung, sondern zudem eine massive Steigerung der elektrotechnischen Produktion insgesamt – und stellt damit eine wesentliche strukturelle Grundlage für die Herstellung elektrotechnischer Geräte dar, die in den darauffolgenden Jahrzehnten auch für die Produktion anderer technischer Medien genutzt werden konnte. Institutionelles Umfeld waren schließlich die Bell Labs, d. h. dasjenige Unternehmen, das bereits in den 1940er Jahren Grundlagenforschung zur Pulse-Code-Modulation in der Telefonie oder zum Transistor betrieb. Die Radarproduktion hatte damit auch jenseits der konkreten Radartechnologien einen essenziellen Effekt auf spätere Medienkulturen. Damit sollte sich eine bereits 1945 geäußerte Vision realisieren:

The biggest influence radar will have after the war is indirect. [...] [R]adar has made the electronic industry one of America's major ones, now comparable in size to the prewar automobile industry. This new industry, through its enormous laboratories, can be expected to find innumerable applications in a wide variety of fields.⁵²

⁵¹ Kelly: Radar and Bell Laboratories, 254.

⁵² Joint Board on Scientific Information Policy (Hg.): Radar. A Report on Science at War, Washington 1945, 50.