

## 9. Radardenken

### Radar als Trigger des Digitalen

---

„It is a truism that no data, however accurate,  
can be of more than historical interest  
if it reaches the military user too late or in the wrong form.“  
– Robert Watson-Watt, 1940<sup>1</sup>

„The problem of creating the most efficient  
organization for the use of radar data,  
in each functional situation involving radar,  
is a very complicated one.“  
– Louis N. Ridenour, 1947<sup>2</sup>

### Bildwissen beim Radar

Im November 1944 hatte Joan Lancaster Nachtschicht in der britischen Bawdsey Radarstation.<sup>3</sup> Der Begriff „Radar“ für ‚radio detection and ranging‘ wurde im No-

- 
- 1 TNA [The National Archives] AVIA 10/50, Robert Watson-Watt (März 1940): „Notes on R.D.F. Research in War“.
  - 2 Ridenour, Louis N. (1947): „The Signal and Its Use“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 213-214, 214.
  - 3 Die folgende Situation basiert auf Joan Lancasters Beschreibung ihrer Aktivität, die in einer Autobiographie abgedruckt wurde: Lancaster, Joan (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station, November 1944“, in: Gwen Arnold: *Radar Days. Wartime Memoir of a WAAF RDF Operator*, Oxford/Orlando, 132-140. Neben dieser Quelle war eine zweite Autobiographie für mich eine wesentliche Grundlage, die britische Radarpraxis im Zweiten Weltkrieg nachzeichnen zu können: Younghusband, Eileen (2013): *One Woman's War*, Cardiff. Es ist solchen raren Selbstdokumentationen zu verdanken, dass die konkrete Radararbeit in der Frühphase des Mediums historisch rekonstruiert werden kann. Für eine überblicksartige Darstellung der Tätigkeiten der WAAF im historischen Kontext vgl.

vember 1940 von der United States Navy für diese neue Medientechnik eingeführt, um die bis dato genutzten Bezeichnungen wie ‚radio echo location‘ oder ‚radio position finding‘ unter einen zentralen Begriff zu stellen.<sup>4</sup> 1943 wurde der Name auf britischer Seite übernommen, wo Radar bis dato als RDF bezeichnet wurde, was für ‚radio direction finding‘ stand – und damit eigentlich ein anderes Verfahren bezeichnete, wie es der Name schon sagte: ein Richtungs-, aber nicht Entfernungsmessverfahren.

Lancaster war Teil der *Women's Auxiliary Air Force* (WAAF); ihre Berufsbezeichnung verdankte sich dem neuen Medium ihrer dienstlichen Praxis: Sie arbeitete als *radar operator*. Ihre Aufmerksamkeit galt dem Radardisplay und dem, was sie auf diesem als „Blip“ bzw. „Pip“ – als vertikalen Ausschlag auf einer horizontalen Zeitlinie des s.g. A-Scopes – ablesen konnte. Lancaster schaute beruflich auf solche Röhrenbildschirme; ihr Beruf war der erste, der eine dezidierte Bildschirmarbeit erforderte und eine frühe Form der Interaktion mit elektronischen Bildern etablierte. Die Blips auf Lancasters Bildschirm waren Visualisierungen von Radarechos und verwiesen auf durch Radar lokalisierte Objekte des Luftraums: Flugzeuge. Geortet wurden diese durch die Aussendung gebündelter Radioimpulse, die von ihnen reflektiert und nach einer gewissen Verzögerung wiederempfangen und auf dem Radarbildschirm, einer Kathodenstrahlröhre, visualisiert wurden. Grundsätzlich basiert das Prinzip von Radar mithin auf dem Messen von „delay between the transmission of a pulse and the reception of the echo from an object“.<sup>5</sup> Die Position des Blips auf dem Radarbildschirm korrespondierte dabei mit der relativen Position georteter Flugzeuge zur Radarstation. Lancasters Dienstaufgabe bestand darin, die Visualisierungen elektromagnetischer Echos auf dem Radarbildschirm in „readable facts“<sup>6</sup> zu übersetzen.

Lancasters Dienstbeginn war 23 Uhr, Dienstende ist 8 Uhr am Folgemorgen. Drei Flugzeug-Formationen der Royal Air Force (RAF) waren früher am Tag auf dem Flug Richtung Deutschland und waren bereits zurückgekehrt, nur vereinzelte Flugzeuge der Formation zeigen sich noch auf dem Bildschirm; viele von ihnen haben aufgrund ihrer geringen Flughöhe vermutlich technische Schwierigkeiten. Um 1:20 Uhr zeigt sich ein neues schwaches Echozeichen: ein Blip in 115 Meilen Entfernung laut Skala des A-Scopes. Lancasters Bildschirmarbeit wird nun manuell:

---

Narracott, A.H. (1941): *How the R.A.F. Works*, London, insb. Kapitel 9 „Women in Blue“, 107-113.

4 Vgl. Skolnik, Merrill I. (1962): *Introduction to Radar Systems*, New York et al., 2.

5 Ridenour, Louis N. (1947): „How Radar Works“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 3-6, 3.

6 Arnold (2002): *Radar Days*, 112.

„Find the bearing, press buttons and the grid reference plot number comes up on the display panel.“<sup>7</sup> Sie setzt auf dem Display eine Markierung auf den Blip, dreht einen Winkelmesser (*goniometer*) und betätigt einen Knopf, um über einen elektromechanischen Analogrechner namens „fruit machine“ die relative Position der georteten Objekte halbautomatisch in eindeutige Koordinaten zu übersetzen (vgl. das Cover dieses Buchs). Diese werden auf einem Lichtpanel angezeigt.<sup>8</sup> In diesem Fall verweisen die Koordinaten auf eine Position kurz vor der niederländischen Küste. „Switch over to the height aerals, find the height, press more buttons – height 20,000 feet. Study the blip and estimate 40+ aircraft.“<sup>9</sup> In der Interpretation des elektronischen Radarbildes nimmt Lancasters empirisches Wissen eine zentrale Stellung ein: Allein durch fortwährende Praxis der Bildschirmarbeit wird das Bild ‚lesbar‘, insofern die Form des Blips Aussagen über die Qualität der Ortung zulässt, d.h. wie viele Flugzeuge vom Radar geortet worden waren.

Diese numerischen Daten – Positionskoordinaten, Flughöhe und eine Schätzung, was geortet wurde – ergeben einen „Plot“. Lancaster oder eine Kollegin neben ihr, eine „Tellerin“, sendet diesen telefonisch an eine „Plotterin“ eines entfernten Filter Room. Kurze Zeit später kommt aus dem Filterraum die Rückmeldung: „Hostile“. Der Ortung wird eine Nummer zugewiesen: „Track No 153“.<sup>10</sup> Nun gilt es, weitere Plots zu akkumulieren und fortwährend an den Filter Room zu senden, um dort einen „Track“ zu generieren. Als geübte *radar operator* kann Lancaster pro Minute etwa 6 Plots akquirieren.<sup>11</sup> Die georteten Flugzeuge befinden sich nun laut Bildschirmskala in einer Entfernung von 100 Meilen zur Radarstation, Lancaster schätzt ihre Anzahl auf nunmehr 60+. Ein nächster Plot: Entfernung 80 Meilen, Höhe 18.000 Fuß, nun 75+ geschätzte Flugzeuge. „Keep tracking. Keep tracking.“<sup>12</sup> Auf dem Bildschirm erscheint ein neuer Blip bei 3 Meilen, es sind vermutlich zwei Flugzeuge. Lancaster identifiziert sie als zwei Flugzeuge der RAF, da sich auf dem Radarbildschirm hinter ihrem Blip ein zweiter, deutlich konturierter Ausschlag auf dem Bildschirm zeigt. Langsam wandert der Blip über den Bildschirm und verweist auf eine zunehmende Entfernung der Flugzeuge von der Radarstation: 8 Meilen, 10 Meilen, 15 Meilen. Bei 20 Meilen scheinen die Flugzeuge zu wenden

---

7 Ebd., 133.

8 „[I]nformation was displayed in lights“ heißt es hierzu in der Quelle Bowden, Bertram Vivian (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 226-228, 227.

9 Lancaster (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station“, 133.

10 Ebd.

11 Vgl. Bowden, Bertram Vivian/Ridenour, Louis N. (1947): „Early Aircraft-warning Radar“, in: Ridenour: *Radar System Engineering*, 175-182, 179.

12 Lancaster (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station“, 133.

und verbleiben in einer Entfernung zwischen 18 und 20 Meilen. Vermutlich handelt es sich um Flugzeuge der Seenotrettung auf der Suche nach einem abgestürzten RAF-Flugzeug vor der Küste Englands. Track 153: Entfernung nun 50 Meilen, Höhe 15.000 Fuß, 75+ Flugzeuge. Weitere Plots folgen: 40 Meilen, 30 Meilen, 20 Meilen. Bei einer Entfernung von 15 Meilen wird der Blip schwächer. Zwei weitere Plots zeigen: Die Formation hat ihren Kurs in südliche Richtung geändert und wird die britische Küste in Kürze erreichen. Circa 20 Minuten nach ihrer ersten Sichtung endet damit das Plotten der Formation – 20 Minuten „On the Tube“<sup>13</sup> von insgesamt 9 Stunden Dienstzeit.

Lancaster war Teil eines komplexen Netzwerks: der britischen Radarkette „Chain Home“ des s.g. Dowding Systems.<sup>14</sup> Von entscheidender Bedeutung war dieses hauptsächlich während des Zweiten Weltkriegs. Funktionaler Kern des Systems war die zentralisierte Her- und Darstellung und anschließende Zirkulation von Luftlagebildern auf Kartentischen („plotting tables“), d.h. die Anzeige der Positionen (Plots) und Flugbahnen (Tracks) britischer und feindlicher, d.h. deutscher Flugzeuge. Wichtig waren derartige Luftlagebilder für die Warnung der britischen Bevölkerung vor Luftangriffen; für die Anweisung der Sperrballonstellungen und der Flak; am wichtigsten jedoch für die gezielte Fernnavigation der Jagdflugzeuge der RAF in Richtung sich nähernder Bomber. Die Luftlagebilder speisten sich aus den Horch- und Sichtmeldungen des britischen Royal Observer Corps einerseits, den Ortungsdaten der britischen Radarstationen andererseits, wie sie u.a. Lancaster akquirierte. Das bedeutete, es galt an diversen Orten generierte Daten über Objekte des Luftraums zunächst kooperativ in *einem* Bild zu kombinieren; d.h. verteilte Daten zu zentralisieren und anschließend das entstandene Bild zu distribuieren. Dafür verfügte das Dowding System strukturell über einen zentralen Filter Room und einen Operations Room (Gefechtsstand) und mehrere untergeordnete Gruppen und Sektoren mit jeweils eigenen Hauptquartieren und Operations Rooms (vgl. Abb. 34), nach denen Großbritannien territorial aufgegliedert war.

---

13 Ebd., 135.

14 Benannt wurde das System retrospektiv nach dem ehemaligen Oberbefehlshaber des RAF Fighter Command Hugh Dowding, der sich – wie viele andere Systemtheoretiker ihrerzeit – um ihr System Design bemühte.

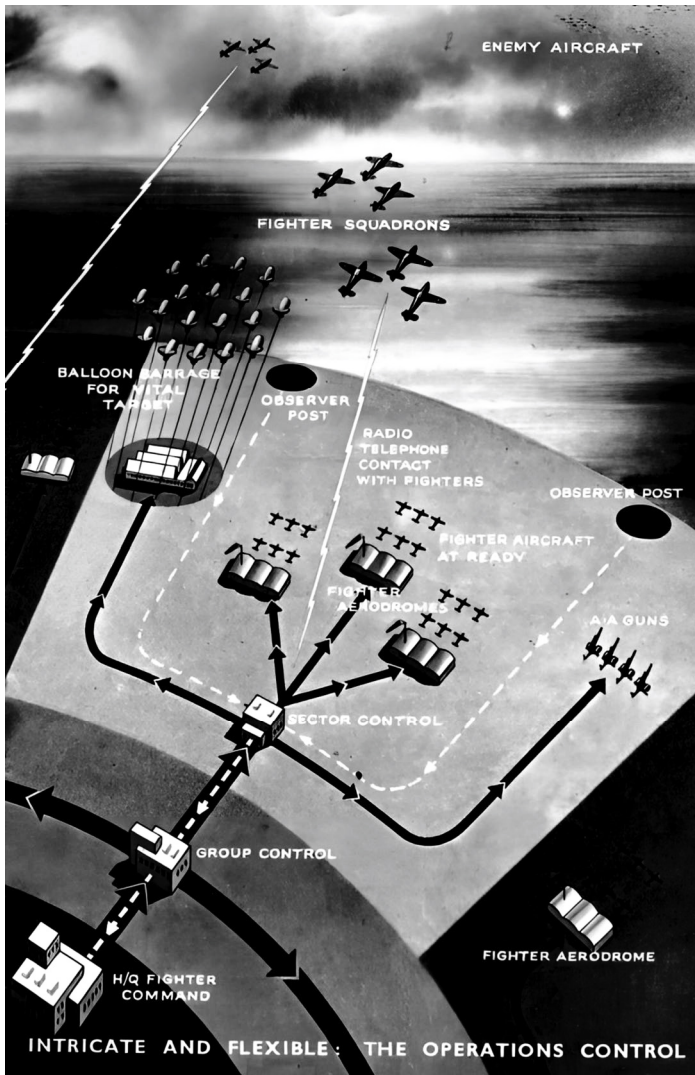


Abbildung 34: Darstellung der ‚operations control‘ des Dowding Systems aus einer Quelle von 1941.

Die technikhistorische Situation machte zwei Dinge erforderlich. Zum einen hatte die zentralisierte und anschließend verteilte Darstellung des Luftlagebildes durch menschliche Akteure zu geschehen. Es standen schließlich noch keine Computer zur Verfügung, an welche diese komplexe Ko-Operationskette der Datenprozessierung und -visualisierung hätte delegiert werden können. Zum anderen war Radar

seinerzeit eine neue Medientechnologie, die keineswegs perfektioniert war. Deshalb konnten in den Radarstationen von Chain Home allenfalls Wahrscheinlichkeiten der Positionen entfernter Flugzeuge produziert werden. Daher war der erwähnte Filter Room – in Bentley Priory in Stanmore bei London – notwendig, in welchem sämtliche ‚rohen Daten‘<sup>15</sup> der Radarstationen zentralisiert wurden, um dort eine manuelle Datenglättung bzw. -filterung vorzunehmen.<sup>16</sup> Erst anschließend wurde das Luftlagebild auf Basis der Radardaten an den benachbarten zentralen Operations Room geleitet, wo das nun korrigierte Bild mit den Daten der Horch- und Sichtposten des britischen Royal Observer Corps kombiniert wurde.

Wurde in einer Radarstation von Chain Home ein Plot generiert, bedeutete dies praktisch, dass eine Tellerin diesen an den Filter Room sendete. Jede Radarstation hatte hierfür eine telefonische Verbindung zu jeweils einer Plotterin im Filterraum, die entsprechend der Position der Radarstation um einen großen, gerasterten Tisch stand, der den Georaum der Radarabdeckung vor den Küsten Großbritanniens kartierte. Dort, in Stanmore, wurden die numerischen Radardaten durch Plotter:innen in farblich und geometrisch codierte Plättchen, mithin ‚handliche Daten‘ übersetzt, die auf die Karte gelegt wurden (vgl. Abb. 35). Die telefonische Meldung eines Plots lautete bspw. „Victor Willie 9-1, 4-3, 15 plus at 20, showing IFF.“<sup>17</sup> Damit war das Kartenquadrat VW sowie die konkrete Position darin als auch die geschätzte Anzahl von Flugzeugen, deren Flughöhe und eine ‚Freund-Feind-Kennung‘<sup>18</sup> benannt. Diese Inhaltsdimensionen des Plots wurden auf dem Plotting Table geometrisch unterschiedlich codiert: Kreise zeigten Positionen; Dreiecke die vermutete Anzahl von Flugzeugen; Vierecke die mutmaßliche Flughöhe.<sup>19</sup> Die dafür nötige Ko-Operationskette zur Verflachung des Luftraums

---

15 Darauf, dass der Begriff der Rohdaten ein Oxymoron darstellt, ist bereits hingewiesen worden, vgl. den in Anlehnung an Geoffrey C. Bowkers gleichlautende Aussage erschienenen Sammelband Gitelman, Lisa (2013) (Hrsg.), „*Raw Data*“ is an *Oxymoron*, Cambridge, MA/London.

16 Der Filter Room war aufgrund der ‚messiness‘ der Radardaten notwendig, wie im historischen Kontext bescheinigt wurde: „In order to deliver intelligence obtained by Coastal Chain Stations to R.A.F. Operations Rooms in a form suitable for use, it has been found necessary to feed intelligence from R.D.F. Stations to a Filter Room before passing it on to Operations Rooms“, hieß es seitens der RAF, TNA AVIA 7/410 (27. August 1937).

17 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 96.

18 „IFF“ – englisch für ‚identification of friend or foe“. Erfolgte die Meldung „IFF“, handelte es sich um ein Flugzeug der RAF, da bordseitig ein Transponder aktiviert war, der bei einer Radarortung durch Chain Home ein zusätzliches Signal auf gleicher Frequenz rücksendete, das der Identifikation von RAF-Flugzeugen diene. Dieses Transpondersignal war auf dem Radarbildschirm erkennbar.

19 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 96.

arbeitete demgemäß mit „Inskriptionen“<sup>20</sup> detektierter Objekte und deren Kombination; erst die dadurch produzierten flachen Inskriptionen ermöglichten die anschließende Zirkulation von Luftlagebildern an die für sie relevanten Stellen.



Abbildung 35: Datendarstellung im zentralen Filterraum des Dowding Systems.

Beaufsichtigt wurde das Plotten – d.h. das Bestücken des Kartentisches mit Plättchen und numerischen Werten – von s.g. Filterern bzw. „Filter Officers“. Aus der visuellen ‚Unordnung der Dinge‘ extrahierten diese Informationen: War sich ein:e Filterer auf Basis der Plättchen sicher, aus vagen oder mitunter gar divergierenden Daten verschiedener Radarstationen hinreichende Indizien für eine tatsächliche Flugzeugformation zu identifizieren, ersetzte er oder sie die auf dem Tisch liegenden Plättchen durch eine kleine Tafel: „a little plaque that bore his [or her] best estimate of the identity, position, height, speed, and number of aircraft in the formation.“<sup>21</sup> Datenglättung, also das Filtern, war genuin menschliche Fertigkeit manueller Praxis auf Basis empirisch erlernter Wahrscheinlichkeit.<sup>22</sup> Im Filterraum

20 Latour, Bruno (1999): *Das Parlament der Dinge. Für eine politische Ökologie*, Frankfurt a.M., 41.

21 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 227.

22 TNA AVIA 7/183, E. C. Williams: „Filer Room Organization and Technique“. In dieser Studie von Beginn des Jahres 1940 hieß es über die menschliche Praxis des Filterns: „It cannot be too strongly emphasized that filtering is simply and solely an assessment of probability (...).“

befand sich zudem Personal der „Movement Liaison“, das über dem Kartentisch wie auf einem Balkon positioniert war, um möglichst freien Draufblick auf das sich ergebende Luftlagebild auf Radardatenbasis zu haben. Diese „Controller“ erhielten Informationen aller bekannten RAF-Operationen und konnten Tracks möglichst in binäre Freund-Feind-Kategorien differenzieren; sie informierten die Beteiligten, wenn ein Track als „Hostile“ eingestuft wurde, da diese Tracks beim weiteren Plotten priorisiert behandelt wurden.

Da sämtliche Stationen der Radarkette Chain Home ihre Daten in den Filterraum sendeten, ergab sich dort ein miniaturisiertes, annähernd echtzeitliches Bild des Luftraums vor den Küsten Englands: ein „real time picture of the battle.“<sup>23</sup> Dass dies qua Figuren und Plättchen, ihre geometrische und farbliche Codierung sowie numerische Werte, d.h. insgesamt über ein Bild gelöst wurde, hat nur bedingt etwas mit der Bildlichkeit des Luftlagebildes selbst zu tun – schließlich waren die prozessierten Daten allein als Koordinaten, mithin numerische Werte statt als Bilder relevant. Die kooperative, menschliche Verfasstheit der Datenverarbeitung machte jedoch Figuren und die symbolische Bestückung von Kartentischen geradezu notwendig, wäre doch eine derartige Datenmenge auf Papier nicht echtzeitlich ‚handhabbar‘ gewesen.

Problematisch war die zeitliche und räumliche Verfasstheit der Praktiken des Filterraums. So galt es, den Kartentisch per Hand symbolisch mit Daten zu bestücken, dabei den Tisch aber zugleich für andere Mitarbeiter:innen – und auch eine möglichst freie Draufsicht – freizuhalten. Als kritisch erwiesen sich also in der händischen Plotting- und Filter-Praxis vornehmlich zunächst trivial anmutende Aspekte. So war es bspw. kompliziert, für eine Vielzahl menschlicher Akteure im begrenzten architektonischen Raum um den Kartentisch herum Platz zu finden oder bereits auf dem Kartentisch stehende figürliche Plots beim Platzieren weiterer Plots nicht zu verschieben. Die Körper der beteiligten menschlichen Akteure stellten mithin die „limiting factors“<sup>24</sup> der manuellen Datenprozessierung dar. Zudem hatte sich die händische Datenprozessierung in ihrer Zeitlichkeit an der Geschwindigkeit anfliegender Flugzeuge auszurichten, um eine profitable Frühwarnzeit zu garantieren. „It was emphasised that speed was of the essence“, erinnerte sich die ehemalige Plotterin Eileen Younghusband: „There was no time for misunderstandings.“<sup>25</sup> Demgemäß glich der Filterraum, so schrieb sie weiter, aufgrund seiner architektonischen Verdichtung menschlicher Akteure einem

---

23 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 99.

24 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 228.

25 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 92.



„hive of activity; girls crowded around the table placing and removing many counters; officers having to push their way through them to put down their arrows or change the information on the metal raid plaques. They looked up to the balcony, answering questions from the officers above. There was constant movement. It looked like chaos but it worked. From the balcony the Controller, a senior RAF officer, was shouting instructions, identifying aircraft, always on the alert.“<sup>26</sup>

Die auf dem Plotting Table identifizierten Flugbahnen wurden an den benachbarten Operations Room weitergeleitet, der nunmehr mit gefilterten Radardaten ein bestmöglich validiertes Bild der Luftlage vor den Küsten Englands erhielt. Kombiniert wurde das Luftlagebild dort mit den Meldungen der über dem Inland verteilten Horch- und Sichtposten, d.h. es galt dort, „the whole of the picture of the air war“<sup>27</sup> zu generieren. Dem Filterraum ähnlich war der Operations Room architektonisch derart gestaltet, dass sich zentral der Kartentisch befand, wobei Emporen den beteiligten menschlichen Akteuren eine möglichst freie Draufsicht auf den Tisch gewährten. Dadurch glied der Operations Room in den Worten seines wohl prominentesten Besuchers – Winston Churchill – einem „small theatre“.<sup>28</sup>

Die architektonische Ausgestaltung des Operations Room war Bedingung und Resultat der sich in ihm ausgestalteten Praktiken. D.h. er war einerseits derart gestaltet, dass er Praktiken und Blickregime architektonisch determinierte, andererseits ist eben jenes architektonische Dispositiv Konsequenz der Praktiken der Her- und Darstellung des Luftlagebildes. Damit steht er programmatisch für das, was Susanne Jany als „Prozessarchitekturen“ identifizierte: Zweckbauten des Typs, „deren räumliche Disposition zugleich Voraussetzung wie Resultat der sich in ihnen vollziehenden und durch sie strukturierten Arbeits- und Betriebsabläufe darstellt.“<sup>29</sup> Das architektonische Setting des Operations Room war damit bilateral: durch Praktiken bestimmt und Praktiken bestimmend, die wiederum durch medientechnische Komponenten – Fernschreiber, Kopfhörer, Mikrophone, Telefone, Kabelnetze – ermöglicht wurden. Dadurch erwies sich der Operations Room als abgeschotteter, exklusiver und vor allem hybrider Ort, wie es Cormac Deane auch

26 Ebd., 93.

27 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 227.

28 Churchill, Winston (1985 [1949]): *The Second World War Volume II: Their Finest Hour*, Boston, 293. Dort schrieb Churchill: „The Operations Room was like a small theatre, about sixty feet across, and with two storeys. We took our seats in the Dress Circle. Below us was the large-scale map-table, around which perhaps twenty highly-trained young men and women, with their telephone assistants, were assembled.“

29 Jany, Susanne (2015): „Operative Räume. Prozessarchitekturen im späten 19. Jahrhundert“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7(1), 33-43, 34.

dem idealtypischen Control Room bescheinigt: „If ‚control room‘ signifies a particular combination of architecture and hardware, it also, in a single phrase, signifies a meshing of jurisprudence, communications, media technology, networks, sovereignty and space“,<sup>30</sup> wobei den menschlichen manuellen Datenpraktiken entscheidende Bedeutung zukam.

Die entstandenen Luftlagebilder auf dem Plotting Table des Operations Room – gleichwohl der Kartentisch horizontal ausgerichtet war – können als vertikale Bilder bezeichnet werden. Sie erlaubten Draufsichten, funktionalisierten eine Perspektive von oben und übersetzten den dreidimensionalen Luftraum in eine zweidimensionale Daten-Fläche. Wie von einem fiktiven Beobachtungspunkt weit im Luftraum über England sahen die beteiligten Akteure die Luftlagebilder in Form symbolischer Repräsentation realer Flugzeugformationen auf einem kartographischen Tisch. Insbesondere die Militärs in höheren Ebenen – sowohl vom Dienstgrad als auch buchstäblich, nämlich die Akteure auf der Empore über dem Kartentisch – sahen ein ins Symbolische übersetztes miniaturisiertes Geschehen des Luftraums und nahmen eine Blickposition ‚von oben‘ ein. Spannenderweise war dieser Blick von oben einer, der auf Daten basierte, die gerade nicht – wie im Falle von Drohnen, mit Kameras versehenen Lenkwaffen oder Heißluftballon-Fotographien – ‚aus der Luft‘ kamen, sondern bodengestützt generiert und akkumuliert wurden.

Von diesem zentralen Operations Room des s.g. Fighter Command Headquarters wurde das Luftlagebild an untergeordnete Gruppen- und Sektorenzentralen distribuiert, wo die als solche identifizierten Flugzeugformationen in ähnlicher Weise symbolisch-figürlich dargestellt wurden. Dafür waren die operativen Räume der Group Headquarters architektonisch ähnlich strukturiert wie der zentrale Operations Room und sie verfügten über dieselben Visualisierungsstrategien der Luftlage (vgl. Abb. 36). Zusätzlich wurden dort die Plots wiederholt mit den Angaben der „Observer Posts“ des Royal Observer Corps kombiniert. Diese vermeintliche Redundanz der erneuten Kombination von Radardaten mit Informationen des Observer Corps war insofern wichtig, als dass sich Sichtinformationen in der Zwischenzeit, begründet durch den Zeitverzug im Fighter Command Headquarters, vielleicht schon aktualisiert hatten. Aus den Operations Rooms der Sektoren wurden schließlich alle die Verteidigung betreffenden Operationen angewiesen: die Flak, Sperrballons und vor allem die Jägerleitung.

---

30 Deane, Cormac (2016): „The Control Room: A Media Archaeology“, <https://culturemachine.net/vol-16-drone-cultures/the-control-room/>, 14.10.2022.



Abbildung 36: Historischer Blick in den Operations Room der 10. RAF Fighter Group.

Besonders am Dowding System ist in der historischen Retrospektive seine Existenz als solche. Die Infrastruktur wurde in der Theorie bereits seit 1935 formalisiert, d.h. zu einer Zeit, in welcher ihr zentrales Medium – Radar – noch nicht funktional oder überhaupt verfügbar war. Schließlich fanden erste Radarversuche in Großbritannien erst im selben Jahr, 1935, statt. Im Folgenden will ich cursorisch auf diese Ursprünge des britischen Radars eingehen.

Das britische Air Ministry gab 1934 eine Untersuchung möglicher Gegenmaßnahmen für einen bevorstehenden Luftkrieg in Auftrag, zeichnete sich doch die Bedrohung durch Flugzeuge bereits am östlichen Horizont (Deutschland) ab.

Die Untersuchung kam zu dem Resümee, dass es auf britischer Seite keinerlei effektive Gegenmaßnahmen in Anbetracht der Schnelligkeit militärischer Flugzeuge gäbe. Bereits Anfang der 1930er Jahre war auf das Geschwindigkeitsproblem des Schalls im Vergleich zur Eigengeschwindigkeit detektierter Objekte hingewiesen worden: „the average time taken by sound to travel to a sound-locator from an aeroplane at 10,000 ft. is about 15 seconds and during this time the aeroplane moves along its course for a distance of about half a mile.“<sup>31</sup> Damit erwiesen sich die Horchposten an der südenglischen Küste – die parabolischen Sounddetektoren aus Stein und Beton, für die Judd Case den Begriff „macrophones“ prägte<sup>32</sup> – als nutzlos. Diese basierten einerseits auf der Detektion von Flugzeuglärm – Schall – und zweitens auf passiven Verfahren der Lokalisation. Während des Winters 1934/35 gründete das britische Air Ministry daher das „Committee for the Scientific Survey of Air Defence“ zur Evaluierung alter und Erforschung neuer, mitunter elektromagnetischer Formen der Luftaufklärung. Es war in diesem Kontext, dass Radioingenieur Robert Watson-Watt einen Bericht verfasste, der als Gründungsdokument des britischen Radars gilt. In diesem diskutierte er die Möglichkeiten der militärischen Verwendung von Radiowellen zu Zwecken des direkten Einsatzes. In gängigen Radargeschichten wird allenfalls der Bericht, nicht aber sein Inhalt erwähnt. Deshalb lohnt es, diesen aus der Perspektive einer Mediengeschichte der Verzögerung vertiefend zu erörtern.

Bereits eröffnend hielt das Memorandum „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods“ von Watson-Watt vom 27. Februar 1935 fest, dass es unsicher erscheine, Flugzeuglokalisationen oder zumindest -detektionen passiv auszugestalten, d.h. auf die Basis von Ausstrahlungen eines Flugzeuges selbst zu stellen („primary radiations“<sup>33</sup>). Flugzeuglampen und etwaige Funksprüche würden nicht in einer Größenordnung verwendet, die eine Detektion erlaubten. Auch Flugzeuglärm von Propellern würde konstant lautstärkereduziert und erlaube aufgrund seiner Ausbreitungseigenschaften keine valide Detektion, so Watson-Watt. Aktive Verfahren der Ortung auf Basis von Licht oder Hitze erübrigten sich aufgrund atmosphärischer Absorptionen; eine Lokalisation auf Basis von Ultraschall sei da-

---

31 Paris, E. T. (1933): „Binaural Sound-Locators“, in: *Science Progress in the Twentieth Century (1919-1933)* 27(107), 457-469, 457. Infrastrukturprojekte der Ferndetektion im Luftraum auf Basis passiven Schallempfangs wurden später ad acta gelegt, vgl. TNA AIR 2/1849.

32 Case, Judd A. (2013): „Logistical Media: Fragments from Radar's Prehistory“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 379-396, 386-389. Vgl. Scarth, Richard N. (1999): *Echoes from the Sky: A Story of Acoustic Defence*, Kent.

33 Watson-Watt, Robert Alexander (1935): „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods. Memorandum for C.S.S.A.D. dated 27th February, 1935“, o.A.

hingegen zwar potenziell möglich, aber aufgrund der Geschwindigkeit von Flugzeugen unvorteilhaft. Allein die Verwendung von Radiowellen zur Ortung sei methodisch vielversprechend, so Watson-Watt: „The most attractive scheme is that of setting up zones of short-wave radio ‚illumination‘ through which the approaching craft must fly.“<sup>34</sup>

Watson-Watt erklärte Flugzeuge zu potenziellen Reflektoren elektromagnetischer Wellen. Die reflektorische Eigenschaft von Metall war durch die s.g. Spiegelversuche von Heinrich Hertz aus dem Jahr 1886 belegt worden<sup>35</sup> und wurde bereits zwischen 1902 und 1905 durch Christian Hülsmeyers (ökonomisch desaströses) „Telemobiloskop“ experimentell im Feld zu Zwecken der Schiffsortung ausgenutzt. Besonders am Memorandum war im Unterschied hierzu die Formalisierung der Radiodetektion, die Watson-Watt vorschlug. Ein zur hypothetischen Radioortung vorgesehener Sender solle „brief pulses, equally spaced in time“ aussenden, um Flugzeugdetektionen technologisch per Delay-Messung zu praktizieren. Die irreduzible Laufzeit von Radioimpulsen avancierte in diesem visionären Dispositiv zur Grundlage der Lokalisierung entfernter metallener Objekte des Luftraums. Die apparative Messung der Distanz sollte laut Watson-Watt durch ein visuelles Interface realisiert werden: Unsichtbare Verzögerungen von Radiowellen im Kontext einer Impuls-Echo-Lokalisation sollten auf einer Kathodenstrahlröhre bildlich werden. Bei entsprechender Skalierung des Bildschirms könnte sodann die Entfernung zu reflektierenden Objekten im Luftraum direkt abgelesen werden, wie Watson-Watt explizierte: „the distance between craft and sender may be measured directly by observation on a cathode-ray oscillograph directly calibrated with a linear distance scale“.

Besonders an dieser 1935er Wissenschaftsfiktion künftiger Radiolokalisation ist, dass sie das visuelle Dispositiv bildschirmbasierter Mensch-Maschine-Kommunikation des späteren Radars antizipierte. Sie deklarierte Bildschirme zu Medien der zeitkritischen Übersetzung des Makroraums in amplitudenmodulierte Semantiken des kalibrierten Mikroraums eines Screens. Dadurch fügten sich tendenziell unsichtbare Objekte des Luftraums, so Watson-Watt, qua „time-delay measurement“ in ein elektronisches Bild. In diesem visionären Setting fungierten Bildschirme – wie sie Watson-Watt bereits in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre als „cathode-ray direction finders“<sup>36</sup> zur Detektion von Gewittern, s.g. Sferics nutzte<sup>37</sup> –

34 Ebd. Alle weiteren folgenden Bezugnahmen auf das Memorandum entstammen derselben Quelle.

35 Hertz, Heinrich (1888): „Über Strahlen elektrischer Kraft“, in: *Mathematische und Naturwissenschaftliche Mittheilungen aus den Sitzungsberichten der Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 841-851.

36 TNA AIR 5/1349, Robert Watson-Watt: „Cathode Ray Direction Finder“.

zwischen technischen Apparaturen und Menschen als Schnittstellen der Visualisierung von Verzögerungen.

Dabei antizipierte Watson-Watt die spätere Mikrotemporalität der Impulstechniken des Radars: „I believe these times to be quite manageable within the technique, though they involve a very considerable shortening of the pulse durations now used (about 200 microsec.).“ Ebenso deutete sich bei Watson-Watt die neuartige Epistemologie der Technologie an. Künftiges Radar basiere erstens nicht allein auf Bildschirmpraktiken, sondern erlaube potenziell eine teilweise oder vollständige Automatisierung, so Watson-Watt. Zweitens sollten die Techniken zur Erzeugung geeigneter Wellenlängen – zum Zeitpunkt des Berichts gängigerweise 50 Meter – schnellstmöglich in kürzere Wellenbereiche vordringen. Drittens sei die „provision of a line of senders over a long front“ nicht kompliziert, wodurch sich ein radarspezifisches Denken in Netzwerken und Infrastrukturen andeutete (Watson-Watt schrieb diesbezüglich bereits von einem „central control room“ zur kartographischen Repräsentation von Radardaten). Und viertens antizipierte das Memorandum die epistemologische Tragweite der zum Zeitpunkt ihres Verfassens noch nicht existenten Technologie, da die Übersetzung von radiolokalisierten Positionen von Objekten im Luftraum in möglichst „accurate positional data“ des Netzwerks zum kritischen Parameter deklariert wurde.

Der in Watson-Watts Bericht konzipierte Einsatz von Radiowellen stand der Praxis des Rundfunks diametral gegenüber. Wurden Radiowellen beim Rundfunk als einem Unterhaltungsmedium zur Übertragung akustischer Ereignisse genutzt, kam der Zeitlichkeit der Übertragung selbst keinerlei Bedeutung zu. Dementsprechend finden sich in frühen Auseinandersetzungen mit dem Medium Rundfunk, wenn sie die Zeitlichkeit seiner Übertragung überhaupt berücksichtigen, Referenzen zu seiner Realisierung vermeintlicher Gleichzeitigkeit. Dies belegen die Schriften prominenter Radiotheoretiker wie Theodor W. Adorno<sup>37</sup> oder Rudolf Arn-

---

37 Watson-Watt, Robert/Herd, J. F. (1926): „An instantaneous direct-reading Radiogoniometer“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 64, 611-622. Zum Problem der Wettervorhersage auf Radiobasis: Watson-Watt, Robert (1929): „Weather and Wireless“, in: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 55(231), 273-301. Zu seinen frühen Versuchen: Watson-Watt, Robert (1923): „Directional observations of atmospherics 1916-1920“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 45(269), 1010-1026. Nach eigenen Angaben hatte Watson-Watt bereits im März 1916 in einem Memorandum „On a method of Determining the Direction of Distant Electrical Discharges“ an den Direktor des britischen Meteorological Office den Vorschlag gemacht, Kathodenstrahlröhren zur Gewitterdetektion zu nutzen. Jedoch standen zu jener Zeit noch keine geeigneten Oszillographen zur Verfügung, weshalb das Verfahren erst im Sommer des Jahres 1923 erprobt werden konnte, TNA AIR 2/10878.

38 Adorno bescheinigte dem Rundfunk einen räumlich verteilten gleichzeitigen Empfang von Inhalten: „(...) identical content appears at innumerable places at the same time

heim.<sup>39</sup> Demgegenüber basiert Radar genuin auf der Zeitlichkeit bzw. genauer: dem Delay elektromagnetischer Wellen und seiner Messung. Im Unterschied zum Unterhaltungsrundfunk stellt Radar ein Geomedium dar, wie ihm bereits im historischen Kontext attestiert wurde:

„Radar may well be considered a type of radio communication. It is like broadcasting in that it is one-way transmission of intelligence. It is unlike broadcasting in that it gathers intelligence from its surroundings rather than giving it out. The intelligence gathered is the distance and direction of objects within the range of the radar.“<sup>40</sup>

Die Echoortung auf Basis von Radio-Delaymessungen stellte an sich kein neues Verfahren dar, sondern war die Applizierung einer bereits bekannten Methode auf ein neues Problem – dessen war sich Watson-Watt bewusst.<sup>41</sup> Zwar beginnen Radargeschichten gern bei den bereits genannten Hertz und Hülsmeyer, schreiben sich über die Vorschläge des Radiopioniers Guglielmo Marconi zur Funkdetektion<sup>42</sup> und über Praktiken des *radio direction finding*<sup>43</sup> seit den 1920er Jahren fort – sie vernachlässigen aber, dass sämtliche dieser Radioszenarien allein *raum-* statt *zeitkritisch* agierten. Entscheidendes Signum des Aktivradars ist dahingegen sein Operieren auf Basis von *Impulslaufzeiten*. Diesbezüglich konnte Watson-Watt seine Radarvision nur formulieren, weil er zum einen technische Expertise in der Visualisierung von elektrischen Spannungen auf Kathodenstrahlröhren hatte. Zum

---

(...)“, Adorno, Theodor W. (2006): *Current of Music: Elements of a Radio Theory*, hrsg. v. Robert Hullot-Kentor, Frankfurt a.M., 148.

39 Arnheim schrieb, das Radio sei eine „Apparatur, deren technische Eigenart in nichts anderem besteht als darin, daß Klänge, die an einem bestimmten Ort erzeugt worden sind, an beliebigen und beliebig vielen weiteren Orten gleichzeitig zum Wiederaufklingen gebracht werden können.“ Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M., 141.

40 Kelly, Marvin J. (1945): „Radar and Bell Laboratories“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 221-255, 224.

41 Vgl. Watson-Watt, Robert A. (1945): „Radar in War and in Peace“, in: *Nature* 156, 319-324.

42 Marconi vertauschte 1922 produktiv die Rundfunk-Dimensionen von Botschaft und Störung und deklarierte Schiffe zu Reflektoren elektromagnetischer Wellen, um eine Apparatur „of great value to navigators“ zu visionieren, Marconi, Guglielmo (1922): „Radio Telegraphy“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 10, 21, zit. n. Appleton, Edward (1945): „The Scientific Principles of Radiolocation“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 92(57), 340-353, 340.

43 Hierzu Keen, R. (1922): *Direction and Position Finding by Wireless*, London.

anderen, weil er – wie sämtliche Initiator:innen von Radar<sup>44</sup> – mit Experimenten vertraut war, die zehn Jahre vor seinem Memorandum durchgeführt worden waren: Das Prinzip, auf dem Impulsradar basiert, geht zurück auf die ionosphärische Forschung<sup>45</sup> der US-amerikanischen Physiker Gregory Breit und Merle Anthony Tuve. Diese bestimmten 1925 die Höhe der Ionosphäre mit einer Radio-Impuls-Methode, die sie zuvor mit zwei Kollegen an der University of Minnesota basierend auf der Idee entwickelten, „to interrupt the continuous waves of a transmitting [radio] station“.<sup>46</sup> Durch eine Kooperation mit dem US Naval Research Laboratory konnte das technische Equipment für das Prinzip der elektromagnetischen Höhenbestimmung angefertigt werden,<sup>47</sup> sodass ihre technologische Umweltforschung bzw. ihre „oscillographic study of radio signals with the purpose of observing the echo from the [conducting] layer“<sup>48</sup> schließlich glückte. Damit stellte Breit und Tuves Experimentalanordnung die erste funktionale Entfernungsmessung per elektromagnetischer Impulse dar, deren Delayverhalten auf einer Kathodenstrahlröhre visualisiert wurde. Dieses Prinzip der Entfernungsmessung auf Basis von Impulslaufzeiten sollte in den darauffolgenden Jahren jedoch zunächst nicht weiter genutzt werden. Erst 1931 erschien in der Zeitschrift *Nature* ein seinerzeit unscheinbarer, lediglich eine Seite kurzer und singulärer Artikel unter dem Titel „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“.<sup>49</sup> Die Randstän-

---

44 Vgl. Guerlac, Henry (1950): „The Radio Background of Radar“, in: *Journal of the Franklin Institute* 250(4), 285-308, 304.

45 Als Luftschicht über dem Erdglobus mit hohem Anteil an ionisierten Partikeln reflektiert die Ionosphäre Radiowellen. Dass es diese Schicht geben muss, wurde im Dezember 1901 bei der ersten transatlantischen Funkübertragung des Morsebuchstabens „s“ zwischen England und Neufundland evident: Denn die Übertragung hätte nach damaligem Kenntnisstand nicht gelingen dürfen. Radiowellen wurde zu jenem Zeitpunkt noch unterstellt – in Folge der u.a. von Heinrich Hertz durchgeführten Experimente –, sich wie Licht zu verhalten. Dies tun sie allerdings nur bedingt.

46 Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „Note on a Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* 30(1), 15-16, 15.

47 Vgl. Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „A Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Nature* 116, 357.

48 Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1926): „A Test of the Existence of the Conducting Layer“, in: *Physical Review* 28, 554-575, 554. Hierzu auch Tuve, Merle A./Dahl, O. (1928): „A Transmitter Modulating Device for the Study of the Kennelly-Heaviside Layer by the Echo Method“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 16(6), 794-798. Der Aufsatz betonte die Bedeutung „of sending out ‚peaks‘ of very short duration and proper spacing for the study of the radio reflections from the ionized layer in the upper atmosphere by the echo method“, ebd., 794.

49 Appleton, Edward Victor/Builder, G. (1931): „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“, in: *Nature* 127, 970.



digkeit des Verfahrens lag darin begründet, dass es bis dato völlig unklar war, wofür Radioimpulse im Mikrosekunden-Bereich – im Unterschied zu kontinuierlichen Sendungen – überhaupt breite Anwendung finden sollten. Schließlich war die Höhenbestimmung der Ionosphäre ein vergleichsweise exklusives Anliegen.

Weiter will ich der Vorgeschichte von Radar in der umweltlichen Ionosphären-Forschung nicht nachspüren. Mir ging es um die kursorische Rekonstruktion der Begründung von Radar als Bildschirmmedium und mikrotemporal agierender Impulstechnik – dies wird im Laufe des Kapitels noch relevant werden. Zudem will ich keine weitere Geschichte des Radars liefern. An ihr besteht kein Mangel, im Gegenteil, die Fülle an Forschungsliteratur ist derart groß, dass hier allein exemplarisch auf ausgewählte Bücher verwiesen werden kann.<sup>50</sup> Es ist im Folgenden Anliegen, die historische Genealogie nationaler und disparater Radartechnologien gewissenhaft zu umgehen und aus medienwissenschaftlicher Perspektive, unter Berücksichtigung der historischen Rahmung dieser Arbeit, auf die durch Radartechnologie begründeten Elemente unserer aktuellen Kultur zu fokussieren.

Bereits in den 1940er Jahren prägte Radar Praktiken, Strukturen und Technologien aus, die in den nachfolgenden Jahrzehnten eine wesentliche Grundlage digitaler Kulturen darstellen sollten. Damit ist ein Ursprung aktueller Medienkulturen irreduzibel im Radar zu finden. Diese These ist nicht prinzipiell neu, da das nordamerikanische Luftverteidigungssystem SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*) – dessen Grundlage eine räumliche verteilte Radarinfrastruktur darstellte – bereits mehrfach als zentral für die medien- und netzwerktechnische Entwicklung des 21. Jahrhundert identifiziert worden ist.<sup>51</sup> Allerdings war SAGE erst um

- 
- 50 Jones, Reginald Victor (1978): *Most Secret War: British Scientific Intelligence 1939–1945*, London; Buder, Robert (1996): *The Invention That Changed the World. How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War and Launched a Technological Revolution*, New York; Bowen, Edward George (1987): *Radar Days*, Bristol; Price, Alfred (1977): *Instruments of Darkness: The History of Electronic Warfare*, London; Reuter, Frank (1971): *Funkmeß: Die Entwicklung und der Einsatz des Radar-Verfahrens in Deutschland bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges*, Opladen; zudem eher autobiographisch intendiert: Watson-Watt, Robert (1959): *The Pulse of Radar*, New York; Rowe, Albert Percival (1948): *One Story of Radar*, Cambridge; Wilkins, Arnold (2006): *The Birth of the British Radar. The Memoirs of Arnold „Skip“ Wilkins*, hrsg. v. Colin Latham u. Anne Stobbs, Bedford.
- 51 Everett, Robert R. (1983) (Hrsg.), *Annals of the History of Computing* 5(4), Special Issue: „SAGE (Semi-Automatic Ground Environment)“; Jacobs, John F. (1986): *The SAGE Air Defense System. A Personal History*, Bedford; Hughes, Thomas P. (1998): *Rescuing Prometheus: Four Monumental Projects That Changed the Modern World*, New York, insb. Kapitel 2 „MIT as System Builder: SAGE“; Redmond, Kent C./Smith, Thomas M. (2000): *From Whirlwind to MITRE: The R&D Story of The SAGE Air Defense Computer*, Cambridge, MA; Edwards, Paul N. (1996): *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge, MA.; Geoghegan, Bernard Dionysius (2019): „An Ecolo-

1960 einsatzbereit, wohingegen diese Untersuchung 1950 endet. Das wiederum ist besonders, da die Frühphase des Radars zwar mitunter erschöpfende technik-historische Aufmerksamkeit erfuhr,<sup>52</sup> seine medienkulturwissenschaftliche Untersuchung aber aussteht. Grundsätzliche These ist, dass in dieser historischen Frühphase bereits die entscheidenden technischen, theoretischen und epistemischen Grundlagen zu finden sind, die seit den 1950er Jahren erst zum bspw. SAGE führen konnten. Ebenso können hier die Fundamente identifiziert werden, die später – bspw. auf den Macy-Konferenzen<sup>53</sup> – als wesentliche Momente des Digitalen definiert werden sollten. Ein durch Radartechnik evoziertes, zunächst technikspezifisches Denken wurde mithin zum Denken des Digitalen.

Diesem Desiderat widme ich mich im Folgenden anhand von acht Aspekten, die mir wesentlich erscheinen, die medienkulturelle Relevanz von Radar aufzuzeigen. Die ersten beiden Beispiele sind spezifisch für das Dowding System und die britische Radarkette Chain Home: die Infrastrukturierung von Radar und die Etablierung von System Design sowie Operations Research. Danach werde ich den größeren Medieneffekten im Sinne einer Epistemologie des Radars nachspüren. Konkret sind dies Radar Beacons; die Radio-Navigationsinfrastruktur LORAN; die US-amerikanische Radarindustrie; das Operieren von Radar als Impulstechnik; die Verwobenheit von Radar- und Digitalcomputer-Geschichte; Verfahren der Pulse-Code-Modulation; und schließlich der Transfer von Radarbildschirmen in andere Kontexte.

## Die Infrastruktur des Mediums

Radar ist nicht *ein* Medium. Es ist eine medientechnische Funktion, die differente Ausprägungen erfahren konnte.<sup>54</sup> Es war das Verdienst der britischen Radarpioniere, die praktische Unbestimmtheit jener medialen Funktion zum gegebenen

---

gy of Operations: Vigilance, Radar, and the Birth of the Computer Screen“, in: *Representations* 147(1), 59-95.

52 Verwiesen sei an dieser Stelle auf die umfangreichen und spezifischen Arbeiten von Fritz Trenkle für das deutsche Radar bspw. (1979): *Die deutschen Funk-Navigations- und Funk-Führungsverfahren bis 1945*, Stuttgart; (1981): *Die deutschen Funkpeil- und -Horch-Verfahren bis 1945*, Ulm; (1982): *Die deutschen Funklenkverfahren bis 1945*, Heidelberg; (1987): *Die deutschen Funkführungsverfahren bis 1945*, Heidelberg.

53 Vgl. Pias, Claus (Hrsg.) (2003), *Cybernetics–Kybernetik. The Macy-Conferences 1946-1953. Band 1: Transactions/Protokolle*, Zürich.

54 Wie bei allen technischen Medien bezeichnet der Name „Radar“ nicht eine einzelne Apparatur, sondern eine technische Funktionalität, die mitunter sehr unterschiedliche praktische Implementierungen erfahren kann, wie bereits im historischen Kontext betont wurde, vgl. Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 221.