

The Human Being as a Servo

Von *feedback control* zur Kybernetik

Lasse Scherffig
Lab3, Kunsthochschule für Medien Köln
<http://interface.khm.de>
lscherff@khm.de

Abstract: Am Anfang der Kybernetik steht die Erkenntnis Norbert Wieners, dass Lebewesen und Maschinen etwas gemeinsam haben: Ihr Verhalten lässt sich als Feedbackprozess beschreiben. Folglich konzipiert er die Kybernetik als neue wissenschaftliche Disziplin eines „totalisierten“ Feedbackbegriffs. Diese Totalisierung wird durch eine Vorgeschichte ermöglicht, die Wiener in seiner eigenen Darstellung ausblendet: In der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg kommt es zu einem Paradigmenwechsel in der Regelungstechnik. Im Zuge dessen wird ein einheitlicher Feedbackbegriff erst etabliert und als *feedback control* zum zentralen Paradigma dieses ingenieurwissenschaftlichen Feldes. In der Folge wird Feedback gleichermaßen auf die Probleme elektromechanischer Steuerung wie nachrichtentechnischer Signalverarbeitung angewendet. Die so gesteuerten Systeme werden durch eine einheitliche Theorie beschreibbar; ihre Komponenten werden zunehmend als abstrakte *black boxes* über das Verhältnis ihrer Ein- und Ausgaben beschrieben – und nicht länger über ihre konkrete Realisierung. In der Fortsetzung dieser Entwicklung beginnt die Ingenieurspraxis, diese abstrakte Art der Beschreibung auf die menschlichen Bediener feedbackgesteuerter Systeme auszuweiten und sie ebenfalls mit den Methoden der *feedback control* zu untersuchen. In diesem Paradigmenwechsel ist damit – auch ohne die Arbeit Wieners – erstens die Vereinigung von Regelungs- und Nachrichtentechnik („control and communication“) und zweitens die Gleichbehandlung von Lebewesen und Maschine („in the animal and the machine“) bereits angelegt.

1 A Wienerian account und seine Rezeption

Der *standard account* der Geschichte der Kybernetik beginnt mit einer Maschine zur Flugabwehr. Norbert Wiener entwickelt kurz vor dem Eintritt der Vereinigten Staaten in den Zweiten Weltkrieg den *Anti-Aircraft Predictor*. Dieser soll die Flugbahn eines feindlichen Flugzeugs vorhersagen und es möglich machen, Granaten so zu schießen, dass sie sich nach 20 bis 30 Sekunden Flugzeit dort befinden, wo auch das feindliche Flugzeug in diesem Moment ankommt [Wie61, S. 5].

Die Steuerung dieser Maschine basiert auf *Feedback*: Die Position eines gegnerischen Flugzeugs wird verfolgt und dient als primäre Eingabe in das Vorhersageinstrument. Auf Grund der Positionsdaten wird eine wahrscheinliche zukünftige Position errechnet. Diese Vorhersage dient aber nicht nur der Ausrichtung eines Geschützes, sie wird auch in das Instrument zurückgegeben – womit die Feedbackschleife geschlossen wird: Aus der Ab-

weichung von vorhergesagter und daraufhin beobachteter Position ermittelt das System seinen eigenen Vorhersagefehler und versucht ihn schrittweise zu minimieren (vergleiche hierzu [Ben93, S. 170-181] und [RS99]).

Die Feedback-Schleife, die das System aufbaut, umfasst aber nicht nur das Material des Luftkriegs. Auf dem Boden sind, so Wiener, menschliche Bediener „coupled into the fire-control system.“ [Wie61, S. 6] Und auch der gegnerische Pilot ist ein Mensch. Die Konstruktion eines *predictors* für die Flugabwehr wird so auch zu einer Frage der Verhaltensforschung.

Die Folge dieser Überlegungen, so der *standard account* dieser Geschichte weiter, ist Wieners Erkenntnis, dass alles zielgerichtete Verhalten auf Feedback basiert. Feedback wird so zum Kern einer neuen Universalwissenschaft des Verhaltens. Wiener gibt ihr den Namen Kybernetik [Wie61, S. 11] und legt mit ihr, so der Aufruf zu diesem Workshop „das Fundament für eine Übertragung des biologischen Lebensbegriffs auf informationstechnische Systeme.“

Der *Anti-Aircraft Predictor* bleibt ein Prototyp und wird nie eingesetzt. Nach dem Krieg findet er sich aber in der Einleitung des Buches wieder, mit dem Wiener die Kybernetik einführt und ihre hier skizzierte Geschichte erstmals erzählt. Ihr *standard account* ist ein „Wienerian account“ [Min04, S. 6].

Wieners Version der Geburtsgeschichte der Kybernetik strukturiert bis heute deren Rezeption. So setzt sich etwa Peter Galison in einer vielbeachteten Analyse zur „Ontologie des Feindes“ detailliert damit auseinander, wie die Anforderungen der Luftabwehr die „rein wissenschaftlichen Fragen vom Tisch“ fegen [Gal97, S. 281] und Wiener in eine neue Richtung lenken. Im Verlauf dieser Arbeit, so Galison weiter, nimmt Wiener zunehmend feindliche Piloten als „mechanisiertes feindliches Gegenüber“ [Gal97, S. 283] wahr, was weitreichende Folgen hat und schließlich wichtigste Voraussetzung für den universellen Anspruch der Kybernetik ist: „In dieser Vorstellung verschmolz der feindliche Pilot derart mit der Maschine, daß die Grenze zwischen Mensch und Nicht-Mensch verwischt wurde.“ [Gal97, S. 285]. In Folge dieser Entgrenzung wird die Flugabwehr „totalisiert“ [Gal97, S. 308]: „Schließlich wurde der AA-Prädiktor mitsamt seinen technischen Definitionen von Rückkopplungssystemen und *blackboxes* für Wiener zum Modell einer Kybernetik, die das ganze Universum umfassen sollte“ [Gal97, S. 282]. In einer populärwissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Kybernetik kommt Howard Rheingold zu ganz ähnlichen Schlüssen. Auch hier führt der Weg, den Wiener nach seiner Abkehr von den „rein wissenschaftlichen Fragen“ in Folge des Krieges einschlägt, auf die Spur kosmischer Zusammenhänge: „It looked as if Wiener might be onto an even more cosmic link between information, energy and matter.“ [Rhe00, S. 112]

Natürlich führt die Geschichte des *Anti-Aircraft Predictors* nicht zwangsläufig zu der Forderung, dass die Kybernetik entweder Produkt eines genialen Geistes oder unausweichliche Folge des mechanisierten Krieges ist. Wiener selbst hat unter Verweis auf Fliehkraftregler in Dampfmaschinen angemerkt, dass die technische Anwendung von Feedback der Formulierung der Kybernetik voraus ging [Wie61, S. 11]. Und auch in technikfernen Gebieten gab es immer wieder Konzepte, die dem der Rückkopplung nahe stehen [Gal97, S. 317-318]. Die Frage aber, wie Wiener 1948 plötzlich eine Wissenschaft eines universa-

lisierten Feedbackbegriffs ausrufen kann, obwohl keinerlei „frühmodernes Äquivalent zu dem abstrakten Begriff der *Rückkopplungssysteme*“ existierte [Gal97, S. 318], verdient eine Antwort, die sich nicht in dem Verweis auf Wieners Arbeit am *Anti-Aircraft Predictor* oder das Beispiel feedbackgesteuerter Dampfmaschinen erschöpft.

2 *Feedback control in der Regelungs- und Nachrichtentechnik*

Die Entwicklungen, auf die Wiener sich nicht bezieht, sind die, die ihm räumlich und inhaltlich am nächsten stehen: Während der 1920er und 1930er Jahre entwickelt sich Feedbacksteuerung an verschiedenen Orten und aus unterschiedlichen Problemfeldern heraus zur zentralen Methode der Regelungstechnik. Vor dieser Entwicklung existiert nicht nur kein Äquivalent zu dem abstrakten und totalisierten Begriff der Rückkopplungssysteme, wie ihn die Kybernetik verwenden wird. Steuerung durch Rückkopplung und Begriffe wie negatives Feedback sind vielmehr auch in rein technischen Kontexten weitgehend unbekannt. Feedback findet historisch zwar immer wieder Verwendung, dies geschieht aber punktuell und ohne Rückgriff auf eine allgemeine Terminologie oder Methodik.

Ein wichtiger Schritt zur Etablierung von Feedback als Methode ist die Arbeit von Harold Stephen Black in den *Bell Laboratories* [Ben93, S. 70-96]. Für die Verstärkung telefonisch übertragener Sprache werden hier zunächst Röhrenverstärker, die als reine *feed-forward*-Verstärker arbeiten, eingesetzt. Durch die nichtlinearen Verstärkereigenschaften von Vakuumröhren verwaschen diese Verstärker die übertragene Sprache jedoch. Die Nachrichtentechniker versuchen deshalb zunächst, Röhren mit möglichst linearer Verstärkung zu konstruieren. Black wendet sich von diesem Ansatz ab und konstruiert ab 1923 Schaltungen, in denen das verwaschene Signal des *feed-forward*-Verstärkers teilweise als negatives Feedback in das System zurückgegeben wird, um dessen Ausgabe insgesamt zu linearisieren und zu stabilisieren. Resultat dieser Forschung ist 1927 der *electronic negative feedback amplifier*, der die Basis der weiteren Arbeit der *Bell Laboratories* bildet: Harry Nyquist entwickelt das *Nyquist stability criterion*, dessen Anwendung zur grundlegenden Methode der Untersuchung von Feedbacksystemen werden wird, als er mit Black daran arbeitet, den Verstärker weiter zu verbessern [Min04, S. 125-127]. Die Arbeit von Black und Nyquist bildet zusammen mit der von Hendrik Bode schließlich die Basis einer Nachrichtentechnik, in der die Manipulation von Signalen zunehmend unabhängig von ihren Trägern erfolgen kann – weil *feedback networks* die Tücken des Materials ausgleichen [Min04, S. 135]. Waren die reinen *feed-forward* Verstärker noch extrem anfällig gegen jegliche Änderung von Batteriespannung oder Heizstrom der verwendeten Röhren, kompensiert der *electronic negative feedback amplifier* automatisch jede Änderung der Verstärkerleistung seiner *feed-forward*-Komponente durch eine Änderung des Feedbacksignals [Ben93, S. 75]. Das System ist im technischen Sinn selbstkorrigierend und erlaubt es so, die ausgeführten Funktionen der Signalverstärkung von ihrer materiellen Basis zu abstrahieren.

Parallel zu der Arbeit in den *Bell Laboratories* wird am *Electrical Engineering Department* des MIT unter der Leitung von Forschern wie Vannevar Bush die Stabilität von Stromnetzen erforscht [Ben93, S. 97]. Die Untersuchung von Stromnetzen erfolgt hier

zunächst mit Hilfe von Analogmodellen, die die erforschten Netze als Miniaturnetze nachbilden. Zugleich entstehen aber auch Schaltungen, die die Gleichungen ausrechnen sollen, mit denen das Verhalten der Netze beschrieben wird. Aus den Analogmodellen werden so Analogrechner, der berühmteste von ihnen wird der *Differential Analyzer* werden. Einer seiner Vorläufer ist der *Product Integrator*.

Der *Product Integrator* berechnet das Integral des Produktes zweier Funktionen. Dazu werden beide Eingabefunktionen auf einem Tisch abgetragen. Der Tisch wird durch einen Motor horizontal (in Richtung der x-Achse) bewegt, während zwei menschliche *operator* auf der Vertikalen (y-Achse) den entsprechenden Funktionswert an einem Potentiometer verfolgen. Die daraus resultierenden veränderlichen Ströme werden schließlich von einem Wattstundenmeter gemessen [Ben93, S. 98-103].

Der Schritt von den Analogmodellen zu Analogrechnern ist dabei kein substantieller Bruch. Der Unterschied zwischen einem Miniaturstromnetz, das sich analog zu seinem großen Vorbild verhält, und einem Analogrechner, der die Gleichungen, die dieses Vorbild beschreiben, berechnet, ist vor allem dann nicht groß, wenn das Vorbild ausgerechnet ein elektrisches Netz ist. Sobald im *Product Integrator* die Eingabekurven als veränderliche Ströme und Spannungen vorliegen, ist das Integral ihres Produktes mit der elektrischen Arbeit identisch, die der Wattstundenmeter misst. Konsequenterweise bezeichnet man in dieser Frühphase elektromechanischen Rechnens Analogrechner oft einfach als Schaltungen oder *networks*.

Der Ingenieur Harold Hazen ist an der Entwicklung solcher Analogrechner maßgeblich beteiligt. Für ihn ist das zentrale Problem dieser Arbeit weniger das, die richtigen Schaltungen für die Berechnung der Gleichungen zu finden, sondern das Problem der Abstimmung der Bewegung mechanischer Teile: Wenn am Ende des Rechnens mit dem *Product Integrator* die Rotation eines Wattstundenmeters steht, entspricht sie zwar dem gesuchten Integral, muss aber noch in eine lesbare Darstellung überführt werden. Dazu muss ein Stift in Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit über die y-Achse der Ausgabefunktion bewegt werden. Dieser Stift kann seine Energie aber nicht direkt aus der Rotation des Integrators ziehen, denn der muss frei von aller Reibung funktionieren. Es bedarf also eines Motors, der die Rotation verfolgt und auf die Bewegung des Stiftes überträgt. „This mechanism is really the key to the success of the machine from the practical point of view“, schreiben Bush und Hazen 1927 [Min04, S. 156].

„From the practical point of view“ ist also weniger das Rechnen in Schaltungen als die Verfolgung veränderlicher Signale das entscheidende Problem der Entwicklung von Analogrechnern. Und dieses Problem wird am MIT zunehmend mit Hilfe von Motoren gelöst, deren Steuerung die Differenz zwischen tatsächlicher und gewünschter Ausgabe zur Korrektur ihrer Fehler benutzt. Diese feedbackbasierten Motoren werden als Servomechanismen bezeichnet, das Feld ihrer Erforschung als „servomechanics“.

Die Arbeit am MIT verläuft parallel zu Blacks Arbeit in den *Bell Laboratories*, zwischen beiden findet aber lange kein Austausch statt. Und während der Versuch, lineare Verstärkung für gesprochene Sprache zu erreichen, zunächst wenig mit dem Versuch zu tun zu haben scheint, Stromnetze zu stabilisieren, münden beide damit in das selbe Problem: „The problem is, of course, directly analogous to the amplifier problem solved by

Black. In Black's case the rapidly varying signal to be followed was derived from speech or other sounds, in Hazen's case from the position of mechanical components.“ [Ben93, S. 101] In beiden Fällen beruhen die praktischen Lösungen für das automatische Verfolgen eines veränderlichen Signals auf Feedback. In beiden Fällen dient Feedback dabei der Entkopplung von Material und Signal – Telefonleitungen und Analogrechner auf der einen Seite, übertragene Sprache und verrechnete Funktionswerte auf der anderen. So wie der *electronic negative feedback amplifier* die Signalübertragung über immer weitere Strecken erlaubt, erlaubt Feedback es Bush und Hazen, immer größere Rechner zu bauen [Min04, S. 157].

Mit dieser Entwicklung werden die Analogrechner genau wie die Schaltungen der Nachrichtentechnik als Systeme beschreib- und konstruierbar, die aus einzelnen Modulen bestehen, welche jeweils über ihre Ein- und Ausgaben – und nicht etwa über ihre physikalische Umsetzung – vollständig definiert sind: „The servo made the successive stages of the integrator into modular system blocks.“ [Min04, S. 157] Damit setzt sich eine Entwicklung fort, die mit der mathematischen Beschreibung des Verhaltens von Schaltungen begonnen hatte und in deren Zug bereits die Lösung einer abstrakten *network theory* von einer mit konkreten Objekten beschäftigten *device theory* stattfand [Bel62, S. 849]. Die analog rechnenden *networks* des MIT und die *feedback networks* der *Bell Laboratories* sind also bereits als abstrakt in diesem Sinne zu verstehen. Vor allem aber treiben sie diese Abstraktion weiter voran: „For the MIT machines, the servomechanism [...] abstracted the numerical data away from the machines itself“ [Min04, S. 156]. Diese Entwicklung kulminiert nach dem zweiten Weltkrieg in einem Konzept, das eine steile Karriere in der Kybernetik machen wird – auch wenn es erst nach Wieners erster Formulierung der Kybernetik in diese Wissenschaft übernommen werden wird:¹ Die *black box* gibt der radikalen Reduktion der „modular system blocks“ auf den Zusammenhang von *in-* und *output* einen Namen.

1934 veröffentlichen sowohl Hazen als auch Black grundlegende Texte über ihre Arbeit [Ben93, S. 97]. Obwohl die Elektrotechnik den Feedbackbegriff bereits kennt und verwendet, muss Black hier die grundsätzliche Unterscheidung von positivem und negativem Feedback erst einführen [Ben93, S. 74-75]. Er erschließt damit endgültig das Feld der *feedback control* für die Nachrichtentechnik: „Black's diagram and equations were central because they established a *language* with which to talk about feedback systems“ [Ben93, S. 22]. Hazen kann sich auf eine Reihe vorangegangener Veröffentlichungen zur ingenieurwissenschaftlichen Anwendung von Feedback stützen, er muss diesen Arbeiten aber erst ihre gemeinsame Methodik aufzeigen: Er erklärt den Unterschied von *open* und *closed loops* und damit den von *feed-forward* und *feedback*. Schließlich definiert er Servomechanismen als „power-amplifying device[s] in which the amplifier element driving the output is actuated by the difference between the input to the servo and its output“ [Ben93, S. 108].

¹Erst die *second edition* des Buchs *Cybernetics* führt diesen Begriff in ihrem neuen Vorwort ein [Wie61, S. xi].

3 *Human operator und transfer operator*

Auch wenn die Arbeit des MIT zunächst sehr konkrete Probleme der Hochenergie-technik behandelt, ist sämtliche Forschung zu Servomechanismen immer auch militärische Forschung. Die *Navy* interessiert sich bald für die Veröffentlichungen Hazens und schickt ihm im Rahmen einer Kooperation Offiziere zur Ausbildung. Aus dieser Kooperation wird mit dem *Servomechanics Lab* schließlich eine eigene Forschungsabteilung [Min04, S. 207].

Die naheliegendste militärische Anwendungsmöglichkeit für Servomechanismen liegt in der Feuerleitung. Denn zum einen sind analoge Integratoren schon lange in der Feuerleitung im Einsatz [Min04, S. 36] und zum anderen ist das Servoproblem mit dem der Feuerleitung identisch. Das Verfolgen der Eingabekurven durch *operator* am *Product Integrator* entspricht dem manuellen Verfolgen eines Zieles durch die *operator* eines Geschützes, die davon schließlich gesteuerte Bewegung des Zeichenstifts seiner automatischen Ausrichtung auf dieses Ziel. In beiden Anwendungsfällen bilden die *operator* einen entscheidenden Teil des *control loop* und ihr Verhalten weckt das Interesse der Ingenieure: „there was considerable interest in expressing the operator’s behaviour in some formal, and preferably quantitative manner“ [Ben93, S. 165]. In einem Memo an Warren Weaver formuliert Hazen: „We should know as much as possible of the dynamic characteristics of the human being as a servo and therefore his effect upon the dynamic performance of the entire fire control system.“ [Min04, S. 276].

Solche Aussagen sind keineswegs als Metaphern zu verstehen: Aus Sicht der Ingenieure – „from the practical point of view“ also – erfüllt ein menschlicher *operator* im *control-loop* analogen Rechnens oder der Feuerleitung ganz genau die Funktion eines feedbackgesteuerten Servos: Er überträgt und verstärkt ein veränderliches Signal. Als in Folge der Etablierung von Feedbacksteuerung Schaltungen als modulare Systeme realisiert werden, die über das Verhältnis ihrer Eingaben zu ihren Ausgaben als *black boxes* beschreibbar sind, liegt es nahe, die menschlichen Teile eines Signalverarbeitungsnetzwerke als ebensolche Module anzusehen. Hazen fordert folglich, diese Module mit den bewährten Methoden der *servomechanics* zu untersuchen [Ben93, S. 168].

Warren Weaver unterstützt Hazens Forderung und das amerikanische *National Defense Research Committee* (NDRC), dessen *Fire Control Division* Weaver leitet, legt ein Programm zur Untersuchung des „human being as an element in feedback loops“ [Min04, S. 284] auf. Diese Forschung wird von Psychologen des *Applied Psychology Panel* des NDRC unterstützt, die Ingenieure bleiben aber ihren bewährten Methoden treu: So entsprechen für Enoch Ferrell von den *Bell Laboratories* menschliche *operator* wenig überraschend dem *electronic negative feedback amplifier*. Zur Untersuchung ihres Verhaltens setzt er folglich das *Nyquist stability criterion* ein [Min04, S. 285].

Zeitgleich arbeiten auch britische Forscher an diesem Problem: Der Ingenieur Arnold Tustin etwa versucht zu zeigen, dass das Verhältnis von ausgeführter Bewegung zu dabei gemachten Fehlern menschlicher *operator* nicht nur quantifizierbar sondern näherungsweise linear ist, um ganz direkt seine Theorie linearer Servomechanismen zur Modellierung manueller Bedienung nutzen zu können. Damit werden die Methoden und Ergebnisse der Experimentalpsychologie für die Arbeit mit *servomechanics* interessant und die Ergebnis-

se des einen Feldes werden im anderen produktiv. Tustin führt eigene Experimente durch und vergleicht seine Ergebnisse mit denen des Psychologen Kenneth Craik [Ben93, S. 167]. Craik arbeitet in Cambridge am gleichen Problem und stellt dabei ebenfalls fest: „the human operator behaves basically as an intermittent correction servo.“ (zitiert nach [Edw97, S. 186]) Das Verhalten eines ein Ziel verfolgenden Beobachters sollte also auch seiner Ansicht nach mit den gleichen Formalismen zu erfassen sein, die für die Beschreibung signalverfolgender Feedbackmechanismen entwickelt wurden. In Folge seiner Experimente und des Vergleichs mit der Arbeit Craiks kommt Tustin zu einer Formel, die das Verhalten menschlicher *operator* als regelungstechnischen *transfer operator* formalisiert: „Tustin concluded that the human operator could be represented by a transfer operator of the form $(a + bp)e^{-t}\omega^t$ “ [Ben93, S. 267].

Hazen ist dabei klar, was für ein Bild des Menschen solche Untersuchungen des „human being as a servo“ nahe legen: „This whole point of view of course makes the human being... nothing more or less than a robot“ [Min04, S. 284]. Eine Betrachtungsweise ganz im Sinne militärischer Effizienz: „which, as a matter of fact, is exactly what he is or should be“ [Min04, S. 284]. Für den militärischen Einsatz sind menschliche Bediener, die sich tatsächlich wie Servomechanismen verhalten, und deren Funktionieren tatsächlich mit den Methoden der *servomechanics* untersucht werden kann, von großer Wichtigkeit. Wenn es in der Kybernetik oder bei Craik zu einer „Übertragung des biologischen Lebensbegriffs auf informationstechnische Systeme“ kommt, so geht dieser Übertragung also die pragmatische Anwendung von Regelungs- und Nachrichtentechnik auf den regelnden Menschen voraus.

4 *Purpose and purpose tremor*

Norbert Wiener befindet sich nicht nur räumlich in unmittelbarer Nachbarschaft dieser Entwicklung. Er arbeitet eng mit Bush zusammen und schlägt sogar selber einen analogen Integrator vor: Im *Cinema Integrator* trägt ein Film die Eingabekurven und das Integrieren erfolgt über Fotozellen. Für die automatische Steuerung von Filmstreifen und Lichtverschluss dieses Rechners konstruiert Hazen eigens einen neuen Hochgeschwindigkeits-Servomechanismus [Ben93, S. 106]. Auch die Arbeit der Ingenieure und Psychologen, die im Auftrag des NDRC die Rolle der menschlichen *operator* von Feuerleitsystemen untersuchen ist Wiener vertraut: Während er und der Ingenieur Jonathan Bigelow am *Anti-Aircraft Predictor* arbeiten, besuchen sie einige der entsprechenden Forschungsstätten [Min04, S. 284]. Und selbst Wiensers theoretische Arbeit ist keineswegs „rein wissenschaftlich“: Seine Forschung zu Fourieranalyse und statistischer Mechanik besitzt hohe Relevanz für die Ingenieurspraxis und geht unmittelbar in die Entwicklung des *Anti-Aircraft Predictor* ein [RS99, Ben93, S. 170-176].

Neben dieser engen Anbindung an die Regelungstechnik steht Wiener auch in engen Kontakt zur Biologie: Seit den frühen 1930er Jahren ist er mit dem Mediziner und Physiologen Arturo Rosenblueth befreundet. Rosenblueth organisiert während seiner Zeit an der *Harvard Medical School* regelmäßige Abendessen, zu denen er verschiedene Wissenschaftler einlädt, und Wiener ist sein ständiger Gast [Wie61, S. 1]. Rosenblueth arbeitet zu dieser

Zeit mit Walter Cannon zusammen, dessen Buch „The Wisdom of the Body“ 1932 den Begriff der Homöostase in die Biologie einführt [Can32] – ohne allerdings Analogien zu technischer Rückkopplung zu ziehen [Min04, S. 282]. Neben der Idee homöostatischer Selbstregulation ist es aber vor allem eine andere Analogie, die Wiener von Rosenblueth übernimmt: Patienten mit einer Schädigung des Kleinhirns verfallen bei dem Versuch eine zielgerichtete Bewegung auszuführen in ein unkontrollierbares Zittern, weil ihr Griff wiederholt über das Ziel hinausschießt. Dieser *purpose tremor* erinnert stark an die Oszillationen, die auf Grund ungedämpften Feedbacks in technischen Systemen entstehen können und die in der Regelungstechnik als *hunting* und in der Nachrichtentechnik als *singing* bezeichnet werden. Auf die Analogie von *hunting* und *purpose tremor* wird Wiener immer wieder verweisen, um die These zu stützen, dass willentliche Handlungen grundsätzlich auf Feedback beruhen (zum Beispiel in [Wie61, S. 7] oder [RWB43, S. 20]). Das Buch, mit dem Wiener den Begriff der Kybernetik einführt, wird er schließlich Rosenblueth widmen [Wie61, S. v].

Noch vor der Formulierung der Kybernetik unter diesem Titel liefert Wiener zusammen mit Bigelow und Rosenblueth eine erste Skizze dieser neuen Wissenschaft: Ihr Aufsatz „Behavior, Purpose and Teleology“ definiert einen neuen „Behaviorismus“, der Verhalten nach der Form seiner Organisation klassifiziert. Dabei werden *stimulus* und *response* der behavioristischen Psychologie durch *input* und *output* der Regelungs- und Nachrichtentechnik ersetzt [RWB43, S. 18]. Zentrales Unterscheidungskriterium verschiedener Formen von Verhalten wird damit die Art und Weise, wie diese Größen zusammenhängen. Auf die Unterscheidung von aktivem und passivem Verhalten folgt so direkt die grundlegende Unterscheidung von zufälligem und zielgerichtetem aktivem Verhalten, und die Definition des letzteren über die Verschaltung von *in-* und *output* durch Feedback: „All purposeful behavior may be considered to require negative feed-back“ [RWB43, S. 19]. Die höchsten Formen zielgerichteten Verhaltens seien schließlich die, die eine Fähigkeit zur Vorhersage einschließen. Hierbei wird allerdings weniger ein biologischer Lebensbegriff programmatisch auf technische Zusammenhänge übertragen, oder der technische Begriff des Feedbacks auf die Biologie, als vielmehr behauptet, dass für einen so verstandenen Behaviorismus die Unterscheidung von belebt und unbelebt eine untergeordnete Rolle spielt: „a uniform behavioristic analysis is applicable to both machines and living organisms, regardless of the complexity of the behavior.“ [RWB43, S. 22] Dass sich diese „uniform behavioristic analysis“ unmittelbar aus der Betrachtung feedbackgesteuerter Systeme als *black boxes* speist, die über ihre Ein- und Ausgaben vollständig charakterisiert sind, liegt auf der Hand.

Wie sehr sich diese Sicht aufdrängt, sobald man mit technischem Feedback und menschlichen Bedienern arbeitet, zeigt die Tatsache, dass Kenneth Craik, der die *operator* von Feuerleitsystemen als „intermittent correction servos“ untersucht hat, etwa zur gleichen Zeit zu etwa den gleichen Schlüssen kommt: „One of the most fundamental properties of thought is its power of predicting events“, schreibt er 1943 in seinem Buch „The Nature of Explanation“ [Cra43, S. 51]. Diese Fähigkeit sei, so Craik, Teil eines Prozesses, der sich in *translation*, *reasoning* und *retranslation* – also Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe – aufgliedern lässt und der nicht ausschließlich im Menschen anzutreffen sei: „A calculating machine, an anti-aircraft ‘predictor’, and Kelvin’s tidal predictor all show the

same ability“ [Cra43, S. 51]. Ohne expliziten Verweis auf Feedback folgt auch Craik hier dem Weg, den die feedbackbasierte Regelungstechnik, in deren Umfeld er zuvor gearbeitet hat, vorzeichnet: Wenn die „modular system blocks“ der Analogrechner und der Feuerleitung es erlauben, ihre Funktionalität von ihrer materiellen Basis zu abstrahieren und wenn weiter die menschlichen Bediener dieser Systeme in ihnen die Rolle solcher Elemente übernehmen, liegt die generelle Beschreibung menschlichen Handelns in Analogie zu diesen Modulen nahe. Parallel zur „uniform behavioristic analysis“ bei Wiener, Rosenblueth und Bigelow basiert auch bei Craik die Vergleichbarkeit von menschlichem und mechanischem Verhalten auf einer Betrachtung des Verhältnisses von Eingaben und Ausgaben: Eine Ähnlichkeit dieses Verhaltens setzt hier „a similar relation-structure“ [Cra43, S. 51] über *translations* und *retranslations* voraus. Die Parallelität zur Arbeit Wieners ist dabei so groß, dass Warren McCulloch das Buch rückblickend zu einer der Quellen der Kybernetik erklärt [McC74].

5 Eine Verheißung von Erfolg

Vor den 1920er Jahren arbeitet die Regelungstechnik ohne den Einsatz von Feedback methodisch und terminologisch standardisiert zu haben. Mit Arbeiten wie denen von Black und Hazen zeichnet sich Feedback jedoch als generelle Methode von Nachrichtentechnik und *servomechanics* ab. Ihre Texte etablieren eine neue Sprache und strukturieren die Lehrtätigkeit zu *feedback control*. Dabei verspricht Feedback erstens, allgemein anerkannte und bisher ungelöste Probleme dieser Felder lösen zu können und zweitens, deren bisherige Problemlösungsfähigkeiten zu erhalten. Es erfüllt damit die Voraussetzungen, einen Paradigmenwechsel einzuleiten [Kuh67, S. 180-181]. Es ist dabei im Begriff zum Paradigma einer Regelungstechnik zu werden, die beide Felder nicht mehr wesentlich unterscheidet, sondern mechanische, elektrische, und andere Anwendungen unter dem Begriff des Systems zusammenfasst. Obwohl Black seinen Verstärker nie konkret für mechanische Anwendungen vorschlägt, schreibt er in der Patentschrift dazu doch: „The invention is applicable to any kind of wave transmission such as electrical, mechanical, or acoustical [...] the terms used have been generic systems“ [Min04, S. 124]. Im Zuge des Paradigmenwechsels werden *control engineering* und *communication engineering* eins.

In dem Moment, in dem Regelungs- und Nachrichtentechnik ihre Technologien aber als Systeme begreifen, die ausschließlich über ihre Ein- und Ausgaben definiert sind, fallen sie nicht nur in einer allgemeinen Theorie der Feedbacksteuerung zusammen. Sie bereiten darüber hinaus die Anwendung dieser Theorie auf all jene Prozesse vor, die sich abstrakt als Prozesse der Verfolgung und Vorhersage von Signalen beschreiben lassen. Tustins Gleichsetzung von „human operator“ und formalisierten „transfer operator“ oder Hazens Formulierung vom „human being as a servo“ deuten dabei an, in welche Richtung die weitere Entgrenzung des Feedbackbegriffs führen wird. Wieners Neudefinition von *purpose* unter Rückgriff auf negatives Feedback vollendet sie.

Nach Hans-Jörg Rheinberger müssen wir „akzeptieren, dass jede – experimentelle – biologische Forschung mit der Wahl eines *Systems* beginnt und weniger mit der Wahl eines theoretischen Bezugsrahmens“ [Rhe06, S. 22]. Wiener wählt mit dem *Anti-Aircraft Pre-*

dictor ganz pragmatisch ein System, dass die Anwendbarkeit seiner bisherigen Forschung und der Forschung seines Arbeitsumfelds am MIT auf den Luftkrieg verspricht. Am Entwurf dieses Systems kristallisiert sich eine Entwicklung heraus, die um ihn herum ohnehin stattfindet: Der *Anti-Aircraft Predictor* ist Servomechanismus und zugleich „eine der genauesten mechanischen Vorrichtungen [...], die im Hinblick auf physiologisches Verhalten je entwickelt wurden“ (wie Galison George R. Stibitz zitiert [Gal97, S. 297]). Er ist damit Ausdruck eines Paradigmenwechsels in der Regelungstechnik und einer Ingenieurspraxis, die ganz selbstverständlich beginnt, die *operator* ihrer Maschinen ihrer Funktion entsprechend wie Servomechanismen und damit als Feedbacksysteme zu betrachten. Damit bekommt Feedback ganz automatisch die Rolle, die sich mit der Vereinigung von Regelungs- und Nachrichtentechnik und deren Anwendbarkeit auf die *operator* bereits angekündigt hat: Es wird zur Grundlage einer Wissenschaft der „control and communication in the animal and the machine“ [Wie61].

Obwohl er nie zum Einsatz gekommen ist, erfüllt der *Anti-Aircraft Predictor* vor diesem Hintergrund doch eine wichtige Funktion: Er wird zum Symbol, das der Kybernetik potentielle Kriegswichtigkeit und damit Relevanz bescheinigt. Durch ihn kann die Vision einer universellen Wissenschaft vom Feedback als Kybernetik nachhaltige Wirkung entfalten. „Symbole sind wirkmächtig“ schreibt Galison [Gal97, S. 319] und Thomas Kuhn hält fest: „Der Erfolg eines Paradigmas [...] ist am Anfang weitgehend eine Verheißung von Erfolg, die in ausgesuchten und noch unvollständigen Beispielen liegt“ [Kuh67, S. 37-38].

Literatur

- [Bel62] Vitold Belevitch. Summary of the History of Circuit Theory. *Proceedings of the IRE*, 50(5):848–855, 1962.
- [Ben93] Stuart Bennett. *A History of Control Engineering 1930-1955*. Peter Peregrinus Ltd., Hitchin, 1993.
- [Can32] Walter Bradford Cannon. *The Wisdom of the Body*. W.W. Norton & Company, New York, 1932.
- [Cra43] Kenneth Craik. *The Nature of Explanation*. Cambridge University Press, Cambridge, 1943.
- [Edw97] Paul N. Edwards. *The Closed World. Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. MIT Press, Boston, 1997.
- [Gal97] Peter Galison. Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik. In Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner und Bettina Wahrig-Schmidt, Hrsg., *Räume des Wissens: Repräsentation, Codierung, Spur*. Akademie Verlag, Berlin, 1997.
- [Kuh67] Thomas S. Kuhn. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1967.
- [McC74] Warren S. McCulloch. Recollections of the many Sources of Cybernetics. *ASC Forum*, 6:5–16, 1974.

- [Min04] David A. Mindell. *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2004.
- [Rhe00] Howard Rheingold. *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, Kapitel Ex-Prodigies and Antiaircraft Guns. MIT Press, Boston, 2000.
- [Rhe06] Hans-Jörg Rheinberger. *Experimentalsysteme und epistemische Dinge: Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 2006.
- [RS99] Axel Roch und Bernhard Siegert. Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wiens Flugabwehrsysteme. In Sigrid Schade, Hrsg., *Konfigurationen: zwischen Kunst und Medien*. Fink, München, 1999.
- [RWB43] Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow. Behavior, Purpose and Teleology. *Philosophy of Science*, 10:18–24, 1943.
- [Wie61] Norbert Wiener. *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press, Cambridge, 2. Auflage, 1961.