

Inhalt

Vorwort | 7

Einleitung | 9

TEIL I

1. Neuronale Integrationsmechanismen um die Wende zum 20. Jahrhundert | 21

1.1 Einleitung | 21

1.2 Physiologische, psychologische und neuroanatomische Aspekte der Herausbildung neuronaler Integrationsmechanismen | 26

1.2.1 Cerebrale Lokalisation vs. funktionelle Äquipotenz | 28

1.2.2 Dynamische Funktionalität (Reflex, Hemmung) | 30

1.2.3 Grundideen des Assoziationismus | 35

1.2.4 Meynerts „Mechanik des Gehirnbaus“ – eine neuroanatomische Grundlegung assoziationistischer Ideen | 39

1.2.5 Exkurs: Spuretheorie des Gedächtnisses | 42

1.2.6 Neuronendoktrin | 48

1.2.7 Physiologie der Nerven | 58

1.3 Neuronale Integrationsmechanismen | 60

1.3.1 Ramón y Cajals Subsysteme | 60

1.3.2 Die Nervennetze Siegmund Exners | 77

1.3.3 Der „common path“- Mechanismus Sherringtons | 83

1.4 Zusammenfassung | 91

2. Die geschlossene Neuronenkette Lorente de Nós: ein neuronaler Integrationsmechanismus der Bahnung und Hemmung | 95

2.1 Einleitung | 95

2.2 Gleichgewichtsforschung bis 1900 | 98

2.3 Robert Bárány | 101

2.4 Lorente de Nól als Neuroanatom | 108

2.5 Lorente de Nól Studium der vestibulo-ocularen Reflexbahnen | 114

2.6 Lorente de Nól Aufbruch in die USA | 124

2.7 Die Elektrophysiologie der Nerven | 128

2.8 C.E.S. und C.I.S. | 134

- 2.9 Lorente de N6s Synthese | 139
 - 2.9.1 Zirkulation als neuronaler Integrationsmechanismus der reflektorischen Nachentladung | 140
 - 2.9.2 Lorente de N6s zwei Typen der Neuronenkette | 147
 - 2.9.3 Neuroanatom oder Physiologe? | 159
- 2.10 Zusammenfassung | 165

Schlussbetrachtungen Teil I | 169

TEIL II

- 3. Memory „ex Machina“ – regenerative Zirkulation in kybernetischen Nervennetzen bei von Neumann und McCulloch | 175**
 - 3.1 Einleitung | 175
 - 3.2 Grundannahmen kybernetischer Nervennetze | 182
 - 3.3 Nervennetzmodelle des Lernens | 185
 - 3.3.1 Lern- und Gedächtnistheorien im frühen 20. Jahrhundert | 186
 - 3.3.2 Ein protokybernetisches Konditionierungsmodell | 191
 - 3.3.3 McCullochs experimentelle Epistemologie | 200
 - 3.3.4 McCulloch und Pitts' logische Nervennetze | 207
 - 3.4 „Memory“ – John von Neumanns kybernetisches Gedächtnisspeichermodell | 214
 - 3.4.1 Der ENIAC, der EDVAC und John von Neumann | 215
 - 3.4.2 Ringspeicher für den EDVAC | 220
 - 3.4.3 „First Draft of a Report on the EDVAC“ | 226
 - 3.5 Regenerative Zirkulation in McCullochs kybernetischen Nervennetzmodellen | 238
 - 3.5.1 „Wissende“ Speicherkreise | 242
 - 3.5.2 Erkenntnisinstrument kybernetische Nervennetzmodelle | 249
 - 3.6 Der Geist der Automatentheorie | 254
 - 3.6.1 Die Automatentheorie als kybernetisches Projekt | 256
 - 3.6.2 Von Neumanns „Lernapparat“ | 263
 - 3.7 Schicksal des Gedächtnisspeichermodells | 277
 - 3.8 Lorente de N6 – ein Kybernetiker? | 286
 - 3.9 Schlussbetrachtungen | 289

Literatur | 295

Vorwort

Mein Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater Prof. Dr. Dirk Siefkes. Seiner Neugierde, Offenheit und seinem unorthodoxen Zugang zu Informatik verdanke ich dieses Projekt. Als Leiter des *Interdisziplinären Forschungsprojektes Sozialgeschichte der Informatik* sowie als Betreuer des Studienreformprojektes *Geschichte als Zugang zur Informatik*, beide eingerichtet am damaligen *Fachbereich Informatik der Technischen Universität Berlin*, eröffnete er mir den „Raum“ für diese Arbeit. Er unterstützte mich als aufmerksamer Leser und Zuhörer und war ein konstruktiver Kritiker. Ich danke ihm für seine kontinuierliche Begleitung des Projektes durch Höhen und Tiefen und für sein neugieriges Mittragen meiner Ausflüge in die Neurowissenschaften.

Auch meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Michael Hagner von der *ETH Zürich* möchte ich herzlich danken. Er hat meine Hinwendung zur wissenschaftshistorischen Herangehensweise kontinuierlich und kritisch begleitet. Er war ein kompetenter Gesprächspartner, immer offen für meine Fragen. Im Rahmen des *Max-Planck-Institutes für Wissenschaftsgeschichte* in Berlin vermittelte er mir anregende Kontakte zu einer Vielzahl von Wissenschaftshistorikerinnen und -historikern. Durch seine profunde Sachkenntnis auf dem Gebiet der Geschichte des Gehirns bzw. des Nervensystems hat er die Arbeit entscheidend mitgeprägt. Ihm verdanke ich viele wertvolle Anregungen und Hinweise.

Dr. Heike Stach und Dr. Peter Eulenhöfer bin ich zu großem Dank verpflichtet. Sie boten als Wissenschaftliche Mitarbeiter im Interdisziplinären Forschungsprojekt *Sozialgeschichte der Informatik* am *Fachbereich Informatik* der *TU Berlin* einen anregenden und fördernden Rahmen. In gemeinsamen Gesprächen über die Überblendung von Mensch und Maschine in der frühen Informatik der 1940er und 1950er Jahre entstanden die ersten Ideen zu dieser Arbeit sowie ein erster Artikel.

Der *Rockefeller Foundation* bin ich für das großzügige Stipendium sowie für die ausgezeichnete Betreuung meines Forschungsvorhabens im *Rockefeller*

Archive Center in Sleepy Hollow, New York zum Dank verpflichtet. Besonders denke ich hier auch an die engagierte Unterstützung durch die Archivare Dr. Tom Rosenbaum und Dr. Lee Hiltzik. Mein Dank gilt ebenso den stets hilfsbereiten Archivarinnen und Archivaren der *Library of Congress* in Washington D.C., der *American Philosophical Society* in Philadelphia und dem Archiv des *M.I.T.* in Boston.

Herzlich danken möchte ich desweiteren allen Menschen, die mich in meiner Arbeit direkt oder indirekt unterstützt haben. Socorro Muñoz recherchierte für mich in Madrid frühe Arbeiten Lorente de Nós. Katrin am *MPI für Wissenschaftsgeschichte* Berlin half mir bei der Übersetzung von Texten Ramón y Cajals und Lorente de Nós aus dem Spanischen. Prof. Dr. Andrew Clarke, Berlin, gab mir Hinweise zu aktueller Literatur über das Gleichgewichtssystem und sprach mit mir über die Bedeutung Lorente de Nós in dieser Disziplin.

Der viel zu früh verstorbenen Dr. Lily Kay habe ich zu danken für ihren ansteckenden Enthusiasmus gegenüber meinem Forschungsprojekt und ihren ermunternden Optimismus. Besonders auch Prof. Dr. Cornelius Borck war in der Frühphase des Projektes ein wichtiger und immer wieder sehr hilfreicher Gesprächspartner. Für den fachlichen Austausch, wertvolle Hinweise und emotionale „Erste Hilfe“ gilt mein besonderer Dank Dr. Tara Abraham.

Prof. Dr. Sam Schweber möchte ich danken, dass er mir während meiner Archivreise sein Haus in Boston öffnete und mich zwei Wochen lang rundum umsorgte, sowie Dr. Gerard Williger für die gemeinsam Zeit in Washington D.C. und seine spontane (Gast-)Freundschaft. Dr. Ingo Hirschberger danke ich für seine aufmerksame und kritische Lektüre und Dr. Benno Kirsch (nicht nur) für die hilfreichen Hinweise beim Layout.

Danken möchte ich des weiteren Dr. Katja Bergmann, Dr. Yoshimi Sugano und Bernd Hartmann, Marit Brosche, Dr. Alfons Brüning, Dr. Barbara Długaszewska, Dr. Rainer Fisch, Daniel Kulesza, Dr. Jérôme Segal, Bogumiła Patyk-Hirschberger sowie besonders Dr. Johannes Schetelig für ihren Beistand in verschiedenen Phasen der Arbeit, die entscheidend länger dauerte, als ursprünglich geplant.

Einleitung

Vielfach wird eine Geschichte der Informatik als ein Nachzeichnen der Entwicklung von Rechengertäten und Rechenverfahren verstanden. Dabei ist es durchaus üblich, auch die Rechenmaschine von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) aus dem Jahr 1694 oder die Entwürfe der *Difference Engine* und der *Analytical Engine* durch Charles Babbages (1792-1871) im 19. Jahrhundert als Vorläufer der heutigen Computertechnologie aufzuführen.¹ Geschichte erscheint so als eine Aneinanderreihung technischer Erfindungen großer Männer und Frauen. Solche Darstellungen gehen häufig einher mit einem verengten Verständnis von Technikentwicklung als deterministischem Prozess.²

Dem gegenüber steht die seit den 1970er Jahren sich entfaltende Vorstellung von Technik- und Wissenschaftsgenese als kulturellem und sozialem Prozess, deren Akteure ihre Werte, Abhängigkeiten, Orientierungen, gesellschaftlichen und beruflichen Kontexte in die Genese prägend einbringen. Die bisherigen Vorstellungen von kumulativer Wissensanhäufung sowie einer vermeintlichen Neutralität der wissenschaftlichen Bewertungsmaßstäbe wurden seitdem in Frage gestellt. Verschiedene Ansätze zu einem solchermaßen veränderten Ver-

1 Vgl. z.B. F. Naumann 2001.

2 Die Entwicklung des technischen Fortschritts wird in diesen Ansätzen häufig als frei von soziologischen oder kulturellen Faktoren wahrgenommen. Technikentwicklung scheint einer eigenen, „eingeborenen“ Logik zu folgen, in der es um ein immer besseres Verständnis von Naturgesetzmlichkeiten geht, in dem Wahrheiten gesucht und gebzw. erfunden werden. Näheres zu diesem Bild der Technikentwicklung, auch bekannt als genetischer oder konsequentieller Determinismus, vgl. S. Beck 1997.

ständnis wissenschaftlicher und technischer Entwicklung konnten sich etablieren.³

Einen solch erweiterten Blick auf die Informatikgeschichte hatte sich auch das Interdisziplinäre Forschungsprojektes *IFP Sozialgeschichte der Informatik* zu eigen gemacht, das 1993 von bis 1997 am ehemaligen *Fachbereich Informatik* der *Technischen Universität Berlin* unter der Leitung von Professor Dirk Siefkes durchgeführt wurde. Siefkes, Eulenhöfer, Stach und Städtler verstehen diese Disziplin als ein Wissens- und Technikfeld, das aus einem komplexen Prozess der Diffusion von Menschen-, Welt- und Technikbildern aus Genetik, Psychologie, Neurophysiologie, Elektrotechnik und Mathematik in die Informatik – und zurück verstanden werden kann.⁴ Ihr Interesse galt, die impliziten Orientierungen aufzudecken, die der Genese von Programmiersprachen oder der Automatentheorie von Neumanns oder den in der Informatik ständig präsenten Formalisierungsprozessen zugrunde liegen.

Im Kontext ihres Projektes wählten sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Gegenstand ihrer Untersuchung das über die Hardware hinausgehende immaterielle Umfeld des Computers, d.h. sie bearbeiteten Fachtexte der Informatik. Als Gemeinsamkeit des untersuchten Materials deckten sie einen Prozess auf, den sie als *Hybridisierung* bezeichneten. Siefkes, Eulenhöfer, Stach und Städtler verstehen darunter die Überblendung der dichotomen Bereiche Computer und Mensch unter Verwendung formaler, meist mathematisch spezifizierter Notationen, wodurch die Aktionsweise von Mensch und Computer „in eins“ zu fallen scheinen. Diese *Hybridisierung* weisen sie als ein zentrales Charakteristikum informatischen Denkens und Handelns aus.⁵

Indem die vorliegende Dissertationsschrift das Überblenden von Neurophysiologie (als das Substrat des menschlichen Geistes) und Computertechnik im Kontext der frühen Kybernetik der 1940er Jahre untersucht, leistet sie einen Beitrag zur Entstehung der *Hybridisierung* als zentrale Vorgehensweise in der Informatik. Anregungen zu diesem Thema erhielt ich im Rahmen des IFP Projektes. Es waren die gemeinsamen Diskussionen um die organismischen, technischen und mathematischen Anteile in zentralen Texten aus der Frühzeit der elektronischen Computer, besonders zu John von Neumann, die in mir das Interesse weckten, den in der Kybernetik verlaufenden Hybridisierungsprozess von Nervensystem und Computer näher anzuschauen und besonders den neurophy-

3 Vgl. z.B. B. Latour/ S.Woolgar 1979, B. Latour 1987, G. Ropohl 1988, W. Rammert 1989, 1998, K. Knorr-Cetina 1999, G. Banse / A. Grunwald 2010; Übersichten geben z.B. B. Heintz 1993 bzw. K. Handel/ V. Hess 1998.

4 Vgl. P. Eulenhöfer et al 1997, S. 6.

5 P. Eulenhöfer et al 1997, P. Eulenhöfer 1998, H. Stach 1999, D. Siefkes 2002.

siologischen Vorbildern auf die Spur zu kommen, ein Unterfangen, dessen Ergebnisse im ersten Teil dieser Arbeit präsentiert werden. Die von mir im Rahmen des Projektes durchgeführten Vorarbeiten führten auch zu dem im Sammelband des IFP erschienenen Artikel zum Thema.⁶

Dieses erwähnte kybernetische Programm einer Überblendung von Nervensystem und Rechentechnik bereitete nicht nur den Boden für *Hybridisierung* als verbreiteter Ansatz in der Informatik, sie wirkte auch in Form der Theorie endlicher Automaten, der Künstlichen Intelligenz, der Theorie Neuronaler Netze und des Konnektionismus in diese Wissenschaft hinein. Daneben übte sie auch großen Einfluss auf andere Disziplinen aus wie z.B. die Neurobiologie.⁷ Letztendlich bereitete die damals etablierte Gehirn – Computer – Analogie die bis heute anhaltende naturwissenschaftliche Aufklärung des menschlichen Geistes über sich selbst und seine technische Reproduzierbarkeit vor.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf zwei Wissenschaftler, den Neurophysiologen und Psychiater Warren McCulloch sowie den Mathematiker Johann von Neumann. Ich untersuche, auf welche Weise und mit welchen Zielen diese beiden zentralen Persönlichkeiten aus der Frühzeit der Informatik den Computer mit dem Nervensystem amalgamierten. Sie entwarfen, wie ich darlegen werde, inspiriert von den ersten elektronischen digitalen Rechenmaschinen Modelle vernetzter ‚Nervenzellen‘, in denen sie unter Verwendung mathematischer Logik das Nervensystem in seiner Funktionsweise (Neurophysiologie) sowie die Funktionsprinzipien der Rechentechnik überblendeten. Diese Modelle zeichnen sich durch den Anspruch aus, den Geist duplizieren zu können und zugleich sowohl den Organismus als auch die Rechenmaschine in ihrer Funktionsweise abzubilden. Der Fokus meiner Untersuchung liegt auf den rekurrenten Organisationsstrukturen innerhalb dieser Modelle, in denen, so die Annahme, eine regenerative, d.h. anhaltende und in ihrer Stärke gleichbleibende Zirkulation ablaufen könne.

Ich zeige, dass diese Vorstellung von anhaltender Zirkulation in Modellen vernetzter ‚Nervenzellen‘ in der Frühzeit der Informatik aus der Überblendung zweier heterogener Bereiche entstammt: Vorbild war einerseits der erste größere Rechenmaschinenspeicher, der auf dem Prinzip der Zirkulation basierte. Andererseits beruht die Vorstellung auf dem neurophysiologischen bzw. neuroanatomischen Konzept einer *geschlossenen Kette von Nervenzellen*, das der Neuroanatom und Physiologe Rafael Lorente de Nó wenige Jahre zuvor zur Erklärung

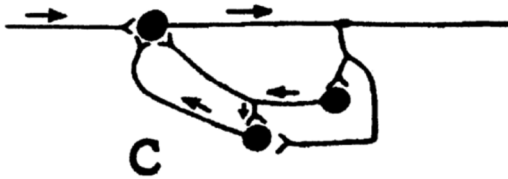
6 K. Schmidt-Brücken 1998.

7 Vgl. M. Minsky 1967, S. Heims 1993, H. Stach 1999, M.A. Arbib 2000, L. Kay 2001, R. Rojas 2001, T. Abraham 2002, H.W. Magoun/ L.H. Marshall 2003, G. Piccinini 2004, M. Christen 2006, M.A. Boden 2008.

von Impulsregulation auf Ebene der Mikroorganisation des zentralen Nervengewebes (u.a. im Cortex) postuliert hatte (vgl. Abbildung E-1).

Auf die bestehende Verbindung zwischen Lorente de Nós physiologischem Konzept einer *geschlossenen Neuronenkette* einerseits und McCullochs bzw. von Neumanns Konzept regenerativer Zirkulation andererseits hat bereits Freeman aufmerksam gemacht.⁸

Abbildung E-1 Lorente de Nós geschlossene Neuronenkette



R. Lorente de N6 1938b, S. 210.

In einer *geschlossenen Neuronenkette* („closed chain“) kreisen Impulse eine Zeit lang, wobei sie durch eine konstante Abgabe von Impulsen für eine anhaltende Senkung des Schwellenwertes der Erregung benachbarter Nervenzellen sorgen. Physiologisch wird dieses Phänomen auch als *Bahnung* bezeichnet.

Auch die Existenz regenerativer Zirkulation in Modellen vernetzter ‚Nervenzellen‘ in der Frühzeit der Informatik fand in der Literatur bereits Erwähnung.⁹ Dennoch sind weder die zirkulativen Prozesse noch ihre Verbindungen zu der Neurophysiologie Lorente de N6s bislang eingehender untersucht worden. Dies ist umso bemerkenswerter, wenn man die Situation mit dem maschinellen Funktionsprinzip der negativen Rückkopplung vergleicht – auch als *negativer Feedback* bekannt –, dem bereits zahlreiche Untersuchungen gewidmet wurden.¹⁰ Dass diese mangelnde Aufmerksamkeit nicht gerechtfertigt ist, zeigt eine genauere Betrachtung besonders der Zeit um die Mitte der 1940er Jahre. Ich lege in meiner Arbeit dar, dass zu dieser Zeit der sich formierenden Kybernetik die regenerative Zirkulation einen gleichrangigen Platz neben dem negativen Feedback einnahm: Sie bildete, so meine These, das funktionale Kernstück eines

⁸ W.J. Freeman 1984.

⁹ Vgl. z.B. J.-P. Dupuy 2000, M. Christen 2006.

¹⁰ Zu negativer Rückkopplung in der Kybernetik finden sich ausführliche Darstellungen z.B. in P. Galison 1997, T. Abraham 2004.

kybernetischen Gedächtnis- bzw. Lernmodells par excellence in Mensch und Maschine. Damit diene sie genau wie der negative Feedback oder der Shannon'sche Informationsbegriff dem kybernetischen Projekt, das sich aus der Verbindung von Organismus und Technik neue Erkenntnisse über den Geist, das Gehirn und den Bau verbesserter Computer erhoffte.

Von seiner etymologischen Herkunft her beschreibt Kybernetik die Kunst der Handlungsteuerung oder Handlungsregelung. Der Mathematiker Norbert Wiener hatte ihn dem griechischen κυβερνητης entlehnt, dem auch der englische Begriff des Steuermann, der „governor“, entstammt. Demgemäß sieht das *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie* beispielsweise den Kernbereich der Kybernetik in einer formalen Theorie geregelter dynamischer Systeme.¹¹ Im Untertitel seines Buches *Cybernetics – control and communication in the animal and the machine* bringt Norbert Wiener¹² zum Ausdruck, dass er Maschinen und Lebewesen gleichermaßen als Gegenstand dieser Kontroll- und Kommunikationsprozesse betrachtet. Dass die Kybernetik als eine Metawissenschaft diese diachronen Bereiche lebendige und tote Materie, Organismus und Computer, das Gehirn und die digitalen Schaltungen zu umfassen sucht, wurde bereits mehrfach beschrieben.¹³

Mit der Untersuchung einer Modellbildung im Schnittpunkt Neurophysiologie/ Technik leistet die Arbeit nicht zuletzt einen Beitrag zur historischen Aufarbeitung eben dieser Kybernetik. Zwar war sie in den letzten Jahren häufiger Gegenstand historischer Darstellungen. Die bestehenden Publikationen beschäftigen sich vor allem mit den politischen, militärischen und technologischen Dimensionen der Kybernetik,¹⁴ ihrem Einfluss auf Sozialwissenschaften und Wirtschaft,¹⁵ mit der Militarisierung der Psychologie im Verlauf des 2. Weltkriegs und des anschließenden Kalten Kriegs,¹⁶ mit dem kulturellen Einfluss der Kybernetik auf das Verständnis dessen, was als menschlich angesehen wird,¹⁷ und die metaphorischen und methodologischen Verzweigungen der Kybernetik in die Molekular- und Entwicklungsbiologie¹⁸. Erst kürzlich wurde der Einfluss der Kybernetik auf unterschiedliche sozialwissenschaftliche Disziplinen unter-

11 H. Seiffert/ G. Radnitzki 1992, S. 183.

12 N. Wiener 1948b.

13 Z.B. P. Edwards 1997, P. Galison 1997, N.K. Hayles 1999, R. Cordeschi 2000, 2002, M. Hagner/ E. Hörl 2008.

14 P. Galison 1997, D. Mindell 2002.

15 S. Heims 1993, P. Mirowski 2001.

16 P. Edwards 1997.

17 N.K. Hayles 1999.

18 L.E. Kay 2000, E. Fox Keller 2002.

sucht¹⁹ und der Entwicklung der Kybernetik in Großbritannien ein eigenes Buch gewidmet²⁰. Eine umfassendere Untersuchung der kybernetischen Modellbildung im Schnittpunkt Technik/ Neurophysiologie steht jedoch noch aus.

Die vorliegende Untersuchung erfolgt diachron. Der *erste Teil der Arbeit* (Kapitel 1 und 2) beschäftigt sich mit der Entwicklung von Modellen vernetzter Nervenzellen aus neurophysiologischer und –anatomischer Perspektive. Lineare und zirkuläre Formen der Erregungspropagation aus der Anfangszeit eines wissenschaftlichen Verständnisses des Nervengewebes als Netz autonomer Nervenzellen um die Wende zum 20. Jahrhundert werden vorgestellt. Kapitel 2 stellt die Entwicklung von Lorente de Nós Konzept *geschlossener Nervenketten* aus den 1930er Jahren dar.

Der *zweite Teil* (Kapitel 3) widmet sich der Hybridisierung nervlicher und computerieller Funktionsweisen in der sich entwickelnden Kybernetik. Die Zeitspanne dieses Teils der Untersuchung reicht von der protokybernetischen Vorzeit der späten 1930er Jahren, über 1945, als der erste funktionsfähige digitale elektronische Computer in den USA seine Arbeit aufnahm, bis in die frühen 1950er Jahre.

Das 1. Kapitel setzt im späten 19. Jahrhundert ein. In den 1890er Jahren wurde von Ramón y Cajal die Nervenzelle als singulärer, funktional und anatomisch unabhängiger Elementarbaustein des Nervensystems postuliert. Das Kapitel zeigt auf, wie Anatomen und Physiologen dieser Zeit ihre Kenntnisse nutzen, um über mögliche Zusammenhänge zwischen Geist und Nerven zu spekulieren. Drei damals entstandene Modelle vernetzter Nervenzellen werden vorgestellt; ich nenne sie *neuronalen Integrationsmechanismen*. Ich zeige, wie in ihnen Erkenntnisse zu Physiologie und Anatomie sowie philosophische Spekulationen über den Geist zu solchen Modellen verquickt wurden, in denen die zu erklärende Funktion ein Ergebnis des Zusammenspiels der vernetzten Nervenzellen bildete. Die vorgestellten *neuronalen Integrationsmechanismen* von Santiago Ramón y Cajal, Sigmund Exner und Charles Sherrington sind sowohl im Cortex als auch in niederen Zentren des Nervensystems und dem Rückenmark angesiedelt. Sie werfen Schlaglichter auf die unterschiedlichen, um die Wende zum 20. Jahrhundert existierenden Ansätze zur Erklärung physiologischer Variabilitäten im Nervensystem (wie sie Beispielsweise bei Reflexen zu beobachten ist) sowie der Entstehung geistiger und körperlicher Fähigkeiten auf neuronaler Ebene. Eine Darstellung zirkulärer Aktivitäten in vernetzten Nervenzellen ist dabei, wenn überhaupt, allein bei Cajal zu erkennen.

19 M. Hagner/ E. Hörl 2008.

20 A. Pickering 2010.

Das 1. Kapitel spannt den Hintergrund auf für Lorente de Nós Postulat einer *geschlossenen Nervenketten* mehr als drei Jahrzehnte später. Dessen Weg hin zu einer Formulierung dieses Konzeptes widmet sich das 2. Kapitel, das auch den neurowissenschaftlichen Teil der Arbeit beschließt. In der Verdichtung dreier Ansätze (Neuroanatomie, Reflexphysiologie und Elektrophysiologie) formulierte Lorente de Nó, so meine Argumentation, ab 1933 seine Thesen über zwei Arten neuronaler Verkettungen in der Mikroorganisation des zentralen Nervengewebes, der *geschlossenen und der sich verzweigenden Neuronenkette* als *neuronale Integrationsmechanismen*, die der Koordination und Regulation nervöser Erregung im Nervensystem dienen. In den 1930er Jahren stellten Lorente de Nós Ausarbeitungen auf diesem Gebiet eine Ausnahme dar, da sich Physiologie und Anatomie zu diesem Zeitpunkt anderen Ansätzen verschrieben hatten. Sein Verdienst um eine frühe Darstellung der funktionellen Parzellisierung im Cortex sowie zentralnervöser neuronaler Verknüpfungsmuster findet inzwischen immer mehr Anerkennung.²¹

Während sich der erste Teil einer *organizistischen* Betrachtung des Nervengewebes aus Sicht der Neuroanatomien und Physiologen widmet, wird im zweiten Teil der Prozess die Entstehung einer *technizistischen* Sichtweise auf das Nervensystem betrachtet.²² Auf der Suche nach den universellen Mechanismen des Geistes wurden in den 1940er Jahren die Unterschiede zwischen Rechenmaschine und Gehirn eingeschmolzen. Dies geschah beispielsweise durch die Gleichsetzung der Grundelemente des gerade entwickelten, elektronischen, digitalen Computers, die digitalen Schalter, mit den Nervenzellen durch John von Neumann. Die Rechenmaschine – oder ein durch sie berechenbares mathematisches Modell – übernahm die Leitbildfunktion für das Verständnis von Gehirn und Geist. Die in diesem Zusammenhang entstandenen theoretischen Modelle nenne ich *kybernetische Nervennetzmodelle*.²³ Die darin vollzogene *Hybridisierung* von Neurophysiologie und Technik war nicht nur dem technischen Blickwinkel von Mathematikern und Ingenieuren geschuldet. Die Vorstellung der Nervenzelle als dem Basiselement des Nervensystems, welches ähnlich einem digitalen on/off Schalter funktioniert, entstammte der Physiologie, nicht der Kybernetik (vgl. Schlussbetrachtungen Teil I), und wurde von McCulloch

21 A.M. Graybiel 1979, W.S. Hoar 1983, W.J. Freeman 1984, J. Larriva- Sahd, 2003, A. Fairén 2007.

22 Hier greife ich auf die Einteilung von M. Hagner 2004 zurück.

23 Wer den Begriff Nervennetze in Physiologie bzw. Anatomie geprägt hat, ist unklar. Eine erste Erwähnung des Begriffs lässt sich bei Albrecht von Kölliker im Jahr 1867 finden, vgl. Kapitel 1.

und Pitts in ihr Modell logischer Nervennetze als Grundelement mit zwei Zuständen integriert.

Das 3. Kapitel stellt dar, wie und von welchen Zielen geleitet McCulloch und von Neumann je individuelle *kybernetische Nervennetzmodelle* als Ausdruck einer Kybernetisierung ihres Denkens entwickelten. Ihre Modelle lassen sich insofern als offen bezeichnen, als dass verschiedene Konzepte aus den Bereichen Physiologie und Rechenmaschinentchnik darin adaptiert werden konnten, wie ich anhand der regenerativen Zirkulation zeige. Diese wurde von den zwei Wissenschaftlern unterschiedlichen Deutungen unterworfen. Sie beschreiben sowohl, welche Bedeutung die Zirkulation innerhalb der *kybernetischen Nervennetzmodelle* erfüllte, als auch welche geistigen Fähigkeiten anhand ihrer simuliert werden könnten. Ausgehend von dem physikalistischen Verständnis, dass der Geist allein im Zusammenspiel der Nerven gründe, postulierten McCulloch und von Neumann damit potentielle, den kognitiven Fähigkeiten wie „Lernen“ und „Gedächtnis“ zugrunde liegende Mechanismen. Sie bezogen sich in ihrem Tun auf psychophysiologische Theorien, die sich aus assoziations-theoretischen Ansätzen des 19. Jahrhunderts speisten, genauso wie auf die Funktionsweise des Computers. Fragen nach der Repräsentation von Semantik, wie sie später beispielsweise in den Debatten der Künstlichen Intelligenz wichtig waren, wurde dabei keine besondere Bedeutung beigemessen.

Die vorliegende Arbeit soll nicht nur dazu beitragen, einen konstruktiven Umgang mit der Kulturalität der Informatik zu finden. Sie leistet zugleich einen Beitrag zu dem Thema, wie sich in der Kybernetik die Betrachtungsweise des Menschen auf sich und seine Welt nachhaltig veränderte. Wie Hagner und Hörl schreiben, begann sich unter dem Eindruck der unübersehbar werdenden hochtechnologischen Entwicklungen der 1940er Jahre das Bild des Menschen von sich selbst und seinem Sein in der Welt im Zeitalter von Kommunikation und Information neu auszugestalten.²⁴ Das Gehirn als Sitz des Geistes wurde in dieser Zeit neu entdeckt. Im Kontext der elektronischen Rechenmaschinen betrachteten die beteiligten Wissenschaftler, unter denen Neurophysiologen genauso vertreten waren wie Ingenieure und Mathematiker, das Gehirn, das Nervensystem, den Geist vor allem durch die Brille von Mathematik und Technik.²⁵ Während bis Mitte des 20. Jahrhunderts der Zugang zum Gehirn bzw. dem zentralen

24 M. Hagner/ E. Hörl 2008, S. 9.

25 Der Erfolg dieses technizistischen Ansatzes ist jedoch nach M. Hagner/ E. Hörl 2008 nicht nur mit den Maschinen und ihren Möglichkeiten zu begründen. Er füllte auch ihres Erachtens das Vakuum, das nach den Erfahrungen des Holocaust entstanden war, welcher seine Wurzeln in einem „auf Höherzüchtung und Ausmerzungen ausgerichteten organistischen Menschenbild“ besaß (ebenda, S. 9); vgl. auch M. Hagner 2004.

Nervensystem vorrangig von den klassischen Disziplinen Neuroanatomie und Physiologie geprägt war, die Strukturen klassifizierten, Regionen bzw. Funktionen lokalisierten und die Nervenfunktion untersuchten, wandelte sich die Frage nach dem „Was ist das Nervensystem bzw. das Gehirn?“ in der Kybernetik der 1940er Jahre in ein „Wie funktioniert es?“.²⁶ In der vorliegenden Arbeit wird genau dieser Wandel in der Betrachtung des cerebralen Nervensystems innerhalb einer historisch festzumachenden Zeitspanne anhand konkreter Protagonisten illustriert. Jedoch weist die Arbeit ebenso auf den von Hagner und Hörl ausgewiesenen „imaginären Standort der Kybernetik hin, der eine neu, nach wie vor aktuelle Art der Erkenntnis hervorbringt“²⁷. Denn die in der Kybernetik geprägte technizistische Perspektive auf das Nervensystem wirkt nach wie vor in der Informatik nach. Und auch der in der Kybernetik mit der Simulation der Funktionsweise des Nervensystems angestoßene Prozess der Neuauslotung des Menschen scheint in den beteiligten Wissenschaften, neben der Informatik auch die Psychologie und die Neurowissenschaften, noch nicht abgeschlossen zu sein.

26 Vgl. auch M. Hagner 2004, S. 288ff.

27 M. Hagner /E. Hörl, 2008, S. 8.