

*"Ich konnte nicht mit Gorbartschow reden, obwohl er doch genau vor zehn Jahren exakt hier in diesem Raum im Schloß Niederschönhausen anwesend war."*

## Vorwort

Das Grundproblem im Erkenntniszuwachs zur Informationsverarbeitung in biologischen Systemen wird charakterisiert durch bestimmte Erfahrungen über neuronale Strukturen:

- Ein Impuls breitet sich in alle Richtungen aus. Es ist keine Adressierung definierter Bereiche von Neuronen zu erkennen.
- Neuronale Aktivität und äußere Aktion korrelieren nur in einem bestimmten Maß. Das gesamte System scheint von stochastischer Natur.
- Die Entschlüsselung der Verschaltung eines neuronalen 'Fasersystems' ist nicht möglich, da dessen Verschaltung zu komplex ist.
- Ein Neuron (zB. im Rückenmark) hat extrem vielfältige Beziehungen zu motorischen, reflektorischen, sensorischen und vegetativen Mechanismen, sodaß die eigentlich informationsverarbeitende Funktion eines Neurons nicht erkennbar wird.
- Die Vielfalt der Zeitfunktionen eines Nervs (dendritisch oder axonal) ist so immens, daß keine Möglichkeit der eindeutigen Zuordnung zu Erregungen oder Aktionen entdeckt werden kann.

Die Verarbeitung von Information in biologischen Systeme hingegen ist (zumindest sporadisch) determiniert. So ist es uns unter vereinfachenden Nebenbedingungen bedingt möglich, zwei Zahlen richtig zu addieren.

Die Wissenschaft hat sich im letzten Jahrhundert um die Aufklärung dieser Widersprüche bemüht. Dabei stand seitens medizinischer/biologischer Untersuchungsmethodik die Beobachtung und Untersuchung biologischer Objekte im Vordergrund.

Die Mathematik fragte nach einfachsten Strukturen, die belehrbar sind, und deren Fehlverhalten global optimierbar oder zumindest vorhersagbar ist. Lernstrategien wurden in Hinsicht auf die Lösung bestimmter Trivialprobleme entwickelt und optimiert. Motiviert wurde diese Entwicklung in der Suche nach technischer Anwendbarkeit.

Mit der Animat-Bewegung entsteht zur Zeit eine neue Herangehensweise: Man versucht, Intelligenz aus dem lokalen Handeln einzelner Individuen zu interpretieren, daß ganz und gar unintelligent sein kann.

Über derzeitige Forschungslinien hinaus sind aber wesentlich andere Fragen zu beantworten, wollen wir eines Tages biologische Intelligenz im Computer simulieren:

Wie ist es möglich, ein sich selbst organisierendes, (nahezu) determiniert wirkendes System zu gestalten, zu konstruieren oder zu modellieren, dessen Wesen zum großen Teil von Stochastik bestimmt wird? Gibt es Bildungsgesetze in der neuronalen Struktur? Welche Ansatzpunkte stehen für eine Auflösung neuronaler Funktionen zur Verfügung? Welcher Zusammenhang existiert zwischen Signalen (Ableitungen, Zeitfunktionen) und Quell- oder Zielorten, zwischen Ort und Ort sowie zwischen Code und Ort? Wie kann das Impulsgemisch eines Nervs gedeutet werden? Wie ist es

dem Neuron aus lokaler Sicht (ohne Supervisor) möglich, komplexe Situationen zu erlernen? Woher erhält es die Information, was erlernt, und was nicht erlernt werden soll? Welche mathematischen Spielregeln gelten in neuronalen Räumen real?

In allen Fragen spielt der einerseits der Gesichtspunkt der Lokalität eine entscheidende Rolle. Andererseits ist die Physik, besser der informatische Teil der Physik (biologischer) neuronaler Netzwerke weitgehend unbekannt und zu untersuchen.

Die großen Fortschritte bei der Entwicklung neuronaler Modellvorstellungen in den letzten vierzig Jahren gestatten es heute, leistungsfähige Lernnetzwerke zu konstruieren, die mit global beherrschender Software lernen. Mit den Netzwerken vom Kohonen-Typ gelingt es, lokal lernende Neuronen zu simulieren. Dennoch entfernt sich die Entwicklung neuronaler Architekturen weit von biologierelevanten Sachverhalten. Während sich Hebb vor fünfzig Jahren noch intensiv mit Vergleichen zu biologischen Netzwerken beschäftigte, ist die Wissenschaft heute desillusionierter denn je. Alle Fortschritte bei der Konstruktion künstlicher, neuronaler Netzwerke können ab und an im Black-Box Verhalten Gemeinsamkeiten zu biologischen Netzen zeigen, sind aufgrund unzulässiger Vereinfachungen physikalischer Art funktionell aber grundverschieden. Mit dem Wissen der AI-Welt lassen sich deshalb bislang zu wenige Rückschlüsse auf die Funktion biologischer Systeme ziehen. Konstruktivismus<sup>11</sup> wird nicht als Makel angesehen.

In Folge wandelte sich auch der Begriffsinhalt 'künstliche Intelligenz' (Artificial Intelligence: AI) wesentlich. Ursprünglich als Synonym für Synthese oder Modellierung biologischer Systeme geprägt, wurde die AI-Welt zunehmend 'künstlich'. Die Aufklärungsquote biologierelevanter, informationsverarbeitender Sachverhalte (so wird die Lektüre dieses Buches zeigen) konnte zwangsläufig nur wenig vorankommen.

Es war an der Zeit, nach neuen Ansätzen zu suchen. Ist die Welt erkennbar, so müssen Eigenschaften biologischer, neuronaler Netzwerke existieren, die bislang unbeachtet blieben, deren Untersuchung bislang möglicherweise mit einer *Plausibilitätsbarriere* unterdrückt wurde.

Als solche erweist sich die Leitgeschwindigkeit der Nervenfasern. Die Plausibilitätsbarriere besteht offenbar darin, daß berechtigt angenommen wird, daß biologische Individuen maximal schnell reagieren müssen, um in der Artenkonkurrenz erfolgreich zu überleben. Dazu aber ist es nötig, daß die Leitgeschwindigkeit der Nervenbahnen (Axonen, Dendriten) maximiert wird. Folglich ist es allzu plausibel, anzunehmen, die Evolution biologischer Systeme ging in diese Richtung. Entsprechend wurden von Anbeginn der AI-Forschung ideal schnell leitende Drähte benutzt, um technische Neuronen zusammenzuschalten.

Ein einfacher Versuch mit Hühnereiweiß kann belegen, daß das Gegenteil der Fall ist. Der Natur stehen viel schneller leitende Materialien, als es die Nerven sind, zur Verfügung. Nerven aus Eiweiß besäßen eine mehrtausendfach höhere Leitgeschwindigkeit als vergleichbar gestaltete Axonen oder Dendriten. Warum also sind Nerven so langsam? Warum wird mit Ionen, statt mit Elektronen gearbeitet? Der Versuch einer informatischen Interpretation liegt nahe. Und er gelingt, wie die Lektüre hoffentlich zeigen wird.

Die Leitgeschwindigkeit  $v$  in definierter Verbindung mit der Impulsdauer  $\tau$  definiert die geometrische Impulslänge  $\lambda$  und somit die örtliche Lokalisation eines sich ausbreitenden Impulses  $\lambda = v\tau$ . Bereits die geometrische Impulslänge  $\lambda$  im menschlichen Nervensystem in einem Bereich von 0,0... bis 120 Millimetern deutet auf die Gegenwart von Welleneigenschaften neuronaler Signale hin. (Als untere Grenze werden derzeit 0,5 mm angegeben. Es spricht vieles dafür, daß sie im  $\mu\text{m}$  oder  $\text{nm}$ - Bereich liegt). Die Untersuchung der Interferenz von Impulsen aus verschiedener Quelle bringt eine

---

<sup>11</sup> Schmidt, S.: Radikaler Konstruktivismus. In Florey, E., Breidbach, O. (Herausgeber): Das Gehirn - Organ der Seele? Akademie-Verlag Berlin, 1993.

holografieähnliche Speicherung von pulsdichtecodierten Amplituden und Bewegungen.

Die vorliegende Untersuchung überträgt das Konzept bekannter, optischer Interferenzen auf elektrische Schaltungen mit dem Ziel, aus Mathematik, Physik und Informatik bekannte Tatsachen zu erörtern, die die Wirkungsweise (biologischer) neuronaler Systeme erhellen können. Auch in optischen Systemen breiten sich Elementarwellen völlig frei und ungehindert nach allen Richtungen aus. Dennoch ist es möglich, Abbildungen vorzunehmen.

Vereinfachende Modelle der Medulla spinalis, des Chiasma opticum, somatotopischer Effekte und anderer Verhaltenseigenschaften unseres Genius demonstrieren, daß es damit möglich wird, einige psychische Phenomene auf Grundlage physischer Gesetze und sichtbarer Struktur zu erklären. Es können technische Lösungen gefunden, sowie Herleitungen und Berechnungen ausgeführt werden, die solche abstrus mystischen, in der Tiefenpsychologie der Seele angesiedelten Dinge wie Ideen, Gefühl, Traum, Dezentralisierung von Verhaltensmustern, cortikale Projektionen, das Kriechen des Regenwurms und das Wegflattern des enthaupteten Hahns auf einfache Weise und für den Physiker nachvollziehbar mit teilweise grotesk einfachen schaltungstechnischen Modellen beschreiben können.

### Historie und Gegenstand

Untersuchungen zu einem bildgebenden Radarverfahren Anfang Oktober 1992 brachten einen Gedanken ans Licht, der sich als Schlüssel erweisen sollte: Eine Gegeneinanderkopplung zweier elektrischer, drahtgebundener Interferenzräume, eines als Sender und eines als Empfänger ausgeführt, ergibt ein Bildübertragungsverfahren, dessen Spiegeleigenschaften vergleichbar zum Homunculus, wie zur optischen Abbildung sind. Der 'Homunculus in uns' (siehe Somatotopie) ist aus der neurologischen Forschung seit Jahrzehnten bekannt.

Kollegen sahen in der Vision von Interferenzen zwischen elektrischen Leitbahnen, sollte sie brauchbar sein, eine Stimulanz für die Entfaltung der künstlichen Intelligenzforschung, wie für die biologierorientierter, neuronaler Disziplinen. Ich ging das Risiko, die Dinge mit dem Begriff der (zunächst noch optischen) Interferenz aufzuhellen, ein; jeden Tag in banger Erwartung einer niederschmetternden Negativ- Indikation. Fast schien es, als wäre unser Genius, nach Stand der AI-Forschung und der medizinischen Lehrmeinung, schlicht und banal 'mit Klingeldraht verkabelt'. Endlose Versuche, falsche Interferenzen auszulösen, scheiterten, festigten aber immerhin eine Einsicht, daß Interferenzsysteme nahezu ideal geschützt sind: durch Interferenz selbst.

Versuche an Hühnereiweiß und an Schweinefleisch verliefen erfolglos. Irgendwie wollte die ideale Leitfähigkeit dieser Medien nicht zu marklosen Nerven passen. Sollten Nervenstränge in ein kurzschließendes Medium gebettet sein? Der Nachweis von Laufzeiteffekten war mit einfachen Labormitteln nicht möglich. Indes stellten diese Messungen neue Fragen: Bereiche der Elektronik, in denen Kirchhoffs Regeln<sup>21</sup> und Maxwells Gleichungen nicht gelten, kann es eigentlich nicht geben.

Bis im Bemühen, im Versuchsniveau zunächst noch einen Schritt zurückzugehen, der Versuch unternommen wurde, eine Impulsausbreitung nachzumessen. Der Daumenversuch (siehe Abschnitt *Laufzeitleitungen*) erbrachte am 16. Dezember 1992 mit einem herkömmlichen EEG-Gerät einen schwachen, aber stark motivierenden Hinweis auf die Verfügbarkeit neuronaler Interferenzen, und auf die Art ihrer Ausbreitung. Um die Abrechenbarkeit der Untersuchungskosten zu wahren, mußte eine Legitimation gefunden werden...

Die Weiterarbeit verlief erfolgreicher. Woche auf Woche wurde ein neues Interferenzprinzip entdeckt. Diente die vorliegende Arbeit zunächst dem reinen Selbstverständnis, wuchs von Woche zu Woche die Freude an ihr, aber auch die Last der Verantwortung. Zuviele Freunde, Bekannte oder Vortragsbesucher fragten nach einem Schriftstück, um das Gehörte Schritt für Schritt

---

<sup>21</sup> Im Gegensatz zu landläufigen Modellierungen neuronalen Strukturen mit der 'Kabelgleichung' gilt in neuronalen Strukturen nicht einmal ein summativer Überlagerungssatz universell.

nachvollziehen zu können. Aus dem Bemühen, diesem Wunsch gerecht zu werden, entstand dieses Buch.

Der erste Vortrag unter diesem Titel fand dann am 28.5.93 im kleinen Kreis interessierter Assistenten mit skeptischer Aufnahme an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin-Karlsruhe, statt. Es folgen öffentliche Vorträge an der GFaI am 27.8.93, sowie im Rahmen der KI-Kolloquien im Labor für künstliche Intelligenz der Technischen Fachhochschule Berlin-Wedding am 27.10.93. Bereits der zweite Vortrag fand trotz sparsamster Ankündigung bei Nichtmitgliedern der GFaI lebhaft Resonanz. Aufgrund der mehrstündigen Kreuzfragen des Publikums scheint seither auch die Gefahr grundlegender, methodischer Fehler gebannt.

Die Indizienkette erscheint inzwischen nahezu lückenlos, jedoch ist die Kette der exakten Nachweise eher dürftig. Was noch vor uns liegt, ist wissenschaftliches Neuland. Ein großer, unerforschter Raum voller neuer, anderer Fragen. Die bisherige Bezeichnung künstlich lernender Systeme vom bisherigen Typ als 'Neuronale Netzwerke' ist mit dieser Arbeit wohl vakant. Die Biologie nutzt, wie im folgenden dargestellt, andere Ansätze zum Lernen, als bisher angenommen, wengleich Grundmodelle zur Beschreibung von Schwellwertverhalten (McCulloch/Pitts; Hurst) wohl Gültigkeit behalten. Mit dieser Arbeit wird deutlich, worin sich die AI- Forschung in den letzten vierzig Jahren nahezu zwangsläufig mehr und mehr von der Biologie entfernte: aus zu ungenauen Prämissen entstand eine künstlich-neuronale Welt. Es mag vermessen klingen, zu behaupten, daß die AI- Wissenschaft mit den verfügbaren Ansätzen prinzipiell nicht in der Lage war, biologische Intelligenz zu interpretieren. Aber es fehlte das globale Adressierungsprinzip neuronaler Information. Es scheint heute so, als sollte der geistige Computer ohne Speicheradressierung gebaut werden. Aber auch Irrwege sind Meilensteine auf dem Weg der Erkenntnis.

Im Nachhinein erscheinen die entwickelten Modellvorstellungen von beinahe trivialer Natur. Noch dazu Laufzeiteigenschaften von Neuronen seit etwa achtzig Jahren bekannt sind, und Laufzeitmessungen mit jedem EKG- Gerät vorgenommen werden können...

Wenn ein Neuron von vielen hundert Synapsen versorgt wird, so ist die *Wahrscheinlichkeit* des Ansprechens, der Erregung des Neurons, immens höher für den Fall, daß Impulse aus verschiedener Richtung *gleichzeitig* ankommen, verglichen mit dem Fall, daß zeitlich unkorrelierte Impulse vorliegen. Folglich ist eine Wesensfrage der Erkennbarkeit des 'Bioprozessors in uns' die der zeitlichen Korrelation, der Betrachtung von Laufzeit und Laufweg von Impulsen als Einheit. Die Optik weist uns ein Stück den Weg zu eben dieser Korrelation im Ort- und Zeit- Raum: zu untersuchen sind neuronale Abbildungen oder schlichthin neuronale Interferenzen. Diesem Gegenstand, der Untersuchung elementarer Verhältnisse in interferenziell wirkenden elektrischen, dh. neuronalen, diskret in Leitbahnform vorliegenden Netzwerken ist folglich die Arbeit gewidmet.

Viele Dinge wären noch zu sagen. Vieles wäre wesentlich genauer zu beschreiben oder zu berechnen. Es mangelt vor allem an Zeit für praktische Untersuchungen. Ich bitte um Nachsicht. Die Arbeit wurde mit keiner einzigen Mark - weder öffentlich, noch privat - gefördert. Und Vermögen besitzt der Autor nicht. Der Großteil entsteht nebenher. Ein Trost bleibt: Sponsoren werden sich jetzt vielleicht finden, die Materie ist technisch brisant. Und so ist nach der Overtüre zu hoffen, daß mit der Arbeit tatsächlich begonnen werden kann.

Der Aufsatz setzt vom Leser gewisse Kenntnisse über lernende Netzwerke der AI- Welt ein wenig voraus. So auch die Kenntnis biologienaher Standardwerke (Schmidt<sup>31</sup>; Rauber/Kopsch etc.). Der Titel liegt in der Nähe von Themen der AI- Forschung, wengleich die Herangehensweise wenig Gemeinsamkeiten zu üblichen AI- Gegenständen von Hebb bis Grossberg besitzt. Für den Leser

---

<sup>31</sup> Schmidt, R.F., Thews, G.: Physiologie des Menschen. 24. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1990

nützlich wäre die Kenntnis selbstlernender Merkmalskarten nach Kohonen<sup>4)</sup> sowie von Spinglas-Modellen der Formen nach Hopfield<sup>5)</sup>. In gewisser Weise sind diese Merkmalskarten als eine Art spezifischer Interferenzkarten anzusehen, wenngleich die Methodik ihrer Entwicklung ungleich hürdenreicher als die Zuhilfenahme von Interferenzen ist.

### **Ein notwendiger Bruch**

Nachdem technisch funktionierende, künstlich-neuronale Systeme schon längst ihren Siegeszug angetreten haben, soll es nicht mehr darauf ankommen, technische Realisierbarkeiten zu befriedigen, sondern äußerst behutsam sich der tatsächlichen Möglichkeiten und Gegebenheiten natürlicher Systeme zu erinnern, und diese Gegebenheiten in physikalisch orientierte Denkmodelle umzusetzen. Diese Behutsamkeit ist unvermeidlich gekoppelt an einen harten Bruch an den Stellen, an denen Verstöße digitaler- oder künstlich-neuronaler Welten gegen biologische Prinzipien offenkundig werden. Entsprechend unorthodox mußte die Arbeit abgefaßt werden. Sie kann sich nicht als fertiges Gebilde verstehen. Vielmehr soll eine Vision biologienaher Informatik erarbeitet werden unter Zuhilfenahme bekannter oder ableitbarer, physikalischer Gesetzmäßigkeiten mit dem Ziel, ein brauchbares Denkgerüst für einen Neuanfang biologieorientierter Intelligenzforschung zu entwickeln. Die dazu nötigen Verletzungen derzeitiger Denkwelten erweisen sich als katastrophal. Notwendige Neuinterpretationen einer Vielzahl medizinisch-neurologischer Untersuchungen sind erforderlich. Selbst oft erwähnte Grundlagenbücher neurologischer Art sind neu zu schreiben. Verschiedenste AI-Methoden erweisen sich als falsch, ungeeignet oder unzutreffend.

Es war es nicht Aufgabe der Arbeit, Neuronenmodelle zu entwickeln, die sich in verfügbare, digitale Denkwelten integrieren lassen, vielmehr ist mit äußerster Vorsicht bei jeder Modellierung oder Herleitung eine vollkommene Passfähigkeit in eine Welt uns zugänglicher Erfahrung über uns selbst zu überprüfen.

Ebenso war die Frage der 'realistischen Form' jedesmal neu zu beantworten. So erregte Klix Buch<sup>6)</sup> Anfang der siebziger Jahre durch eine Vielzahl formal transformierter, mathematischer Methoden in den Bereich der 'organismischen Informationsverarbeitung' die Gemüter auf das Äußerste. Hätten die dargebotenen Modellierungen schon die realistische Form besessen, wäre meine Arbeit überflüssig gewesen.

### **Fehlender, physikalischer Realismus**

Der Siegeszug der AI-Forschung auf dem Gebiet technischer, neuronaler Netzwerke täuscht nur oberflächlich darüber hinweg, daß wir bislang nicht in der Lage sind, biologische Welten über die Grenzen des einzelnen Neuronenverbandes hinaus zu verstehen. Sicherlich ist hier die Zwitterfunktion statistischer Methoden - vergleichbar zum Bruch zwischen Relativitätstheorie und Unbestimmtheitsrelation in der klassischen Physik, auszuklammern. Es möge gestattet sein, auszusprechen, daß ich nicht allein bin in meinem Unbehagen gegenüber vermehrt anzutreffenden Praktiken, biologische Fragestellungen mit überschäumend realitätsfremd wirkenden Ansätzen lösen zu wollen. Eine Weile ließ sich die Gesellschaft mit solcherart Kunststückchen verführen, aber weiterer AI-Vorlauf blockiert zunehmend biologischen Realismus und behindert notwendig Forschungen ernsthafter Natur. So sind zweifellos verfügbare relativistische Untersuchungen unter Berücksichtigung von Laufzeiten in der Literatur zu finden. Nur liegen sie wie die Nadel im Heuhaufen versteckt, so verschüttet sind sie unter einer Flut nichtrelativistischer, oft konstruktivistischer Publikationen.

<sup>4)</sup> Kohonen, T.: Self-organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. Biol. Cybern. Vol.43, 1982

<sup>5)</sup> Hopfield, J.J.: Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. PNAS USA, Vol. 79, 1982, pp. 2554-2558

<sup>6)</sup> Klix, F.: Information und Verhalten. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1971.

Es ist in diesem Zusammenhang bezeichnend, daß zwar der Bezug zum McCulloch/Pitts-Lernmodell allenthalben in diesem Buch auftaucht. Dennoch ist der Bezug nicht erforderlich, um die entwickelten Interferenzmethoden zu abstrahieren. Die hier dargestellte interferenzielle Denkwelt wurde ohne den Bezug zu einem Lernmodell entwickelt, vergleichbar zum Schirm der optischen Abbildung: wer weiß denn schon, ob ein Schirm additiv oder multiplikativ interferiert? Interessant ist lediglich der Schwellwert, die Empfindlichkeit eines Photofilms.

Wir haben in der AI-Forschung einen Stand erreicht, der mit Biologienähe nicht mehr viel gemein hat. Besitzen wir die Größe, uns dies einzugestehen. Postulieren wir den Bruch mit zunächst *allen* AI-Methodiken (bis einschließlich Hebb und McCulloch/Pitts), sofern sie sich nicht nachträglich oder im Detail als paßfähige Abstraktionen auf verifizierte Erkenntnisse erweisen. Weisen wir nach, daß die angewandte Methodik tatsächlich - wenigstens aus relativistischer Sicht der Impulsausbreitung - im konkreten Detail anwendbar ist. Bemühen wir uns, den äußerst schlechten Ruf der AI zu verbessern durch etwas mehr Präzision in der jeweiligen Begriffsbestimmung. Bringen wir unseren Studenten wieder ein wenig experimentelle Grundlagen, statt konstruktiver Phantasien bei. Besitzen wir die Größe, beginnen wir an dieser Stelle zwischen der künstlich-neuronalen Welt und der biologisch-neuronalen Welt zu unterscheiden. Nennen wir das eine AI oder Neurocomputing oder Lernnetzwerk, und das andere Nervennetz. Möge das allgemeine Unbehagen aufhören, trotz funktionierender Modellneuronen kein Stück biologischer Intelligenz entschlüsseln zu können.

### **Eine Vision**

Sollte sich nur ein Bruchteil der hier vorgestellten Modellierungen als hinreichen realistisch erweisen, und praktische Bestätigung finden können, liegen uns neue Welten zu Füßen. Es lohnt sich, etwas zu tun zur Heilung Nervengeschädigter: Prothetiker, Querschnittsgelähmter, Spastiker, Epileptiker usw.. Jeder von uns kann irgendwann einmal betroffen sein.

Auch technisch interessante Anwendungen warten. Vom Fernsehen mit Geruch über das bildgebende Radarverfahren bis zur im Computer assoziierenden Interferenzkarte des eigenen Palliums oder dem scheinbar erfüllten Cyber Space wären Entwicklungen naheliegend. Noch stehen Ergebnisse aus Schlüsselversuchen hin zur Erlangung dieser Technologien aus. Aber darin speziell liegt oft ein Reiz.

### **Zum Titel**

Dies ist kein Buch, daß biologisches Begriffsvokabular in eine konstruierte Welt des Neuro-Computing überträgt. Es dient vielmehr dem Ziel, physikalische Grundlagen im Wettlauf biologischer Signale zu einem unbestimmten Ziel, eine Relativität der Impulsausbreitung, in ihrem informatischen Gehalt zu bestimmen.

Eine ursprünglich der Biologie gehörende Begriffswelt soll ihr auch weiterhin gehören dürfen. Deshalb wird im Titel der Terminus 'Neuronales Netzwerk' ohne weiteres Adjektiv benutzt.

Für einen Wissenschaftler möge es Sache des Anstands sein, den zu untersuchenden Gegenstand eindeutig zu kennzeichnen, und künstliche, neuronale Netzwerke auch als solche kenntlich zu machen. Dieses Buch beschäftigt sich mit neuronalen Netzwerken - mit biologischen, neuronalen Netzwerken - versteht sich.

### **Danksagung**

Meinen herzlichsten Dank an die, die die Arbeit direkt oder indirekt unterstützt haben: Chefarzt der Psychiatrie Dr. med. Alfons Horn sowie EEG- Spezialist Dr. med. T. Griepentrog von der Landesclinik Teupitz für die Unterstützung bei der Einarbeitung in die medizinische Materie und bei den dargestellten EMG- Versuchen. Vielen Dank an Herrn Dipl. Ing. Stefan Prange (Siemens AG

München; ehemals TU Berlin, Institut für Mikroelektronik) für manigfaltige Diskussionen über seine Silizium-Neuronen weit vor dieser Arbeit. Vielen Dank an Herrn Dipl. Math. Frank Namyslik von der Neurotec GmbH (ehemals Expert Informatik GmbH, Berlin) für zurückliegende Unterstützungen, insbesondere für den Hinweis und ein Exemplar des hervorragenden Lehrbuches<sup>71</sup> des 'Chefs'.

Dank auch an die KI-Laborrunde um Prof. C.-M. Hamann von der TFH Wedding für vielfältige Anregungen. Vielen Dank an Dr. Gutjahr (Krankenhaus Treuenbrietzen) und Dr. Lambertz (FU Berlin, Institut für Physiologie) für fachliche Konsultationen.

Dank auch an den Lektor, Herrn Peter Heyl vom Akademie-Verlag Berlin, für die Geduld mit der Veröffentlichung.

Nicht zuletzt Dank an die Gutachter Prof. Dr. Friedhart Klix und Prof. Dr. Horst Völz, die mit verschiedenen Hinweisen auf den Weg halfen und kritisch das Manuskript durchsahen.

Eine hervorragende Hilfe beim Eindringen in Neurophysiologie und Anatomie für den Nichtmediziner boten die Werke von Schmidt<sup>81</sup> und Lippert<sup>91</sup>, der Vorzug deutscher Transskription des Lateinischen erweist sich für den Nichtmediziner als großer Vorzug beim Lesen.

Nicht zuletzt Dank an die Firma Lotus, die mit ihrem Programm Ami Pro<sup>101</sup> für Windows erstmalig die Chance gab, einen gesamten Aufsatz als Gesamtheit von Bildern und Text innerhalb einer Oberfläche sauber und korrekt zu erstellen, sowie externe Grafikdateien (Gnuplot<sup>111</sup>, Iphoto<sup>121</sup> etc.) ohne Probleme einzuziehen, anzupassen und zu verarbeiten. Nicht zuletzt Dank auch an Adobe<sup>131</sup>, Microsoft und HP- LaserjetIIIp<sup>141</sup> für das recht gute Zusammenspiel zwischen Windows<sup>151</sup>, Ami Pro, Type-Manager (ATM) und Laserjet IIIp, das wesentlich für eine zügige Manuskriptfertigstellung war.

In der Hoffnung, der Leser möge die der Materie immanente Gratwanderung zwischen Physik, Mathematik, Medizin und Informatik tolerieren und die daraus permanent resultierenden Vereinfachungen im fachspezifischen Detail als notwendig erachten.

Gerd Karl Heinz, Berlin, im Januar 1993. Aktualisiert im Dezember 1993.

---

<sup>71</sup> Schöneburg, E.; Hansen, N.; Gawelczyk, A.: Neuronale Netzwerke. Markt & Technik V., München, 1990

<sup>81</sup> Schmidt, R.F., Thews, G.: Physiologie des Menschen. 24. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1990

<sup>91</sup> Lippert, H.: Anatomie - Text und Atlas. 5. Auflage, Urban & Schwarzenberg, München, 1989

<sup>101</sup> Ami Pro Release 3.0, Copyright 1988, 1992 Lotus Development Corporation

<sup>111</sup> GnuPlot Copyright (C) 1986, 1987, 1990, 1991, 1992 by Thomas Williams, Colin Kelley

<sup>121</sup> iPhoto Release 3.0, Copyright U-Lead Systems Inc., 1991

<sup>131</sup> Adobe Type Manager Release 2.02, Copyright 1983-1992, Adobe Systems Incorporated

<sup>141</sup> Laserjet IIIp Printer, Copyright Hewlett Packard GmbH Deutschland, 1991

<sup>151</sup> MS Windows, Copyright 1985-1992 Microsoft Corporation.