

# 1. Einleitung

## 1.1 Einführung in das Thema

Eines der Ziele Künstlicher Intelligenz ist es, Computerprogramme mit einer dem menschlichen Denken vergleichbaren Fertigkeit zur Lösung von Aufgaben auszustatten. Wie anspruchsvoll dieses Vorhaben ist, lässt sich an einigen Problemen der künstlichen Informationsverarbeitung ablesen, die nach wie vor nicht vollständig gelöst sind. Ein Beispiel hierfür ist die Schwierigkeit, einen Computer mit menschlichem Sprachverständnis auszustatten.<sup>1</sup>

Konnektionistische Modelle erscheinen als eine Möglichkeit, die Grenzen künstlicher Intelligenz ein Stück nach vorne zu verschieben. Die Anwendung Künstlicher Neuronaler Netze<sup>2</sup> hat insbesondere nach der Entwicklung neuer Lernverfahren wie dem Backpropagation Algorithmus, der für mehrschichtige Netzwerkmodelle angewandt wird, zu bemerkenswerten Fortschritten geführt: Heutige Netzwerkmodelle ermöglichen das Erkennen verzerrter und unvollständiger Muster oder die Lösung komplexer Steuerungsprobleme.

Die Diskussion über die Anwendung Neuronaler Netze in der Ökonomie zielt in erster Linie auf ihre Leistungsfähigkeit im Vergleich zu bislang angewandten statistischen Verfahren.<sup>3</sup> Die Anwendung Neuronaler Netze in der Aktienkursanalyse wurde bspw., nicht zuletzt aufgrund des Anwendungspotentials, das sich hier bietet, mit Interesse verfolgt. Ungeachtet der Fragestellung, ob Neuronale Netze verglichen mit üblichen statistischen Methoden bessere oder zumindest gleichwertige Ergebnisse erzielen, stellt sich

---

<sup>1</sup> Vgl. Gallant (1993, S.4).

<sup>2</sup> Die Bezeichnungen Neuronale Netze und Künstliche Neuronale Netze werden in dieser Arbeit synonym verwandt. Sofern auf physiologische neuronale Netze Bezug genommen wird, ist dies gesondert vermerkt.

<sup>3</sup> Siehe bspw. den Vergleich von Backpropagation-Netzwerken und Regressionsanalyse sowie Backpropagation-Netzwerken und Diskriminanzanalyse bei Rittinghaus-Mayer (1993, S. 207-213) oder den Vergleich eines Multilayer-Perceptrons (Backpropagation-Verfahren) mit den Methoden der Faktorenanalyse sowie der Regressionsanalyse bei Poddig (1994, S. 239 ff.).

die Frage, ob Neuronale Netze auch zur modellhaften Erfassung ökonomischer Beziehungen geeignet sind. Einige Autoren beschäftigen sich mit dieser Perspektive:

*Kursawe* stellt in seinem Beitrag in den Studien zur Evolutorischen Ökonomik des Vereins für Socialpolitik (Bd. II, 1992) naturanaloge Optimierverfahren (Neuronale Netze und verwandte Verfahren) vor.

Eine andere Veröffentlichung mit ökonomischer Blickrichtung wurde von *Beltratti, Margarita und Terna* (1996) geliefert. Diese modellieren das Verhalten von Agenten in einem ökonomischen Kontext mittels einzelner Neuronaler Netze.

Weiterhin sei auf den Beitrag von *Natter und Hruschka* (1995) hingewiesen. Sie verwenden ein Backpropagation-Netzwerk derart, dass dieses auf der Grundlage empirischer Daten ein dynamisches, nicht-lineares Referenzpreismodell mit latenten Variablen ermittelt. Dieses basiert auf einem angenommenen ökonomischen Entscheidungskalkül der Käufer, bei dem diese aufgrund ihrer Erfahrung intern einen Referenzpreis bilden, den sie mit dem aktuellen Marktpreis vergleichen.

Die genannten Beiträge verdeutlichen, dass Ansätze existieren, welche über die ausschließliche Anwendung Neuronaler Netze als statistisches Hilfsmittel in der Ökonomie hinausgehen.

Die Theorie Künstlicher Neuronaler Netze stellt eine Möglichkeit dar, das Prinzip paralleler Informationsverarbeitung, welches in Form neurophysiologischer Netze auch in der menschlichen Informationsverarbeitung vorhanden ist, zu simulieren. Künstliche Neuronale Netze vermitteln ein modellhaftes Bild von der Funktionsweise paralleler Informationsverarbeitung und der verteilten Speicherung von Wissen.

Sie sind allerdings kein naturgetreues Abbild der neurophysiologischen Vorgänge, welche menschlichem Denken und Handeln zugrunde liegen. Dies ist schon deswegen nicht anzunehmen, weil es sich bei Künstlichen Neuronalen Netzen um mathematische Algorithmen und nicht um ein Abbild chemischer bzw. elektrophysiologischer Vorgänge der Signalweiterleitung und Signalverstärkung im menschlichen Gehirn handelt. Die menschliche Informationsverarbeitung zeichnet sich zudem durch eine solche Komplexität aus, dass die Vielzahl der Neurone und ihrer Verbindungen durch Künstliche Neuronale Netze auch nicht annähernd abgebildet werden kann.

Für die hier behandelte Fragestellung ist die grundlegende Funktionsweise Neuronaler Netze von Bedeutung. Das Prinzip paralleler Informationsverarbeitung und die verteilte, teilweise auch lokale, Speicherung von Wissen werden als übereinstimmende Merkmale Neuronaler Netze vorausgesetzt.

Da die Lernverfahren Künstlicher Neuronaler Netze in unterschiedlicher Weise das Prinzip paralleler Informationsverarbeitung nutzen, wird in der Darstellung auf Unterschiede zwischen einzelnen Lernverfahren und Netzstrukturen eingegangen.

## 1.2 Fragestellung

Die Bedeutung der Theorie Künstlicher Neuronaler Netze für unterschiedliche Theoriebereiche und Anwendungsfelder sozialwissenschaftlicher Forschung steht im Zentrum dieser Untersuchung. Diese bezieht ökonomische und soziologische ebenso wie psychologische und philosophische Theorieansätze und Fragestellungen mit ein. Ein Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Bedeutung der Theorie Künstlicher Neuronaler Netze für die ökonomische Theorie.

Die Eigenschaften Künstlicher Neuronaler Netze werden mit unterschiedlicher Zielrichtung diskutiert:

Es wird gefragt, durch welche spezifischen Systemeigenschaften sich Künstliche Neuronale Netze auszeichnen, und inwieweit diese zur Erklärung des Verhaltens sozialer Systeme geeignet sind (dies setzt nicht voraus, dass das Verhalten eines sozialen Systems auch tatsächlich mit einem Neuronalen Netz abgebildet wird). Hierbei wird auch die Bedeutung der Eigenschaften Künstlicher Neuronaler Netze für die Erklärung ökonomischer Anpassungsvorgänge untersucht.

Weiterhin wird der Vorgang der Erkenntnisgewinnung auf der Grundlage von Beobachtung thematisiert. Künstliche Neuronale Netze dienen hierbei als ein Referenzmodell, um Annahmen über die menschliche Erkenntnisfähigkeit zu hinterfragen. Weiterhin wird gefragt, welche Folgerungen sich aus der Anwendung des Prinzips paralleler Informationsverarbeitung für das ökonomische Verhaltensmodell ergeben.

Drittens wird die Möglichkeit, Neuronale Netze *als Modell* zur Abbildung bestimmter Arten von Beziehungen bzw. als Modell zur Abbildung systemtheoretischer Vorstellungen zu nutzen, untersucht.

Im Verlauf der Arbeit wird auf evolutorische und ordnungstheoretische Vorstellungen in der Ökonomie Bezug genommen. Da Künstliche Neuronale Netze durch die schrittweise Anpassung der Verbindungen selbst eine zielgerichtete Ordnung der Systemelemente herausbilden, ist die Bezugnahme auf ordnungstheoretische Vorstellungen naheliegend. Die schrittweise Anpassung der Systemelemente in Künstlichen Neuronalen Netzen vollzieht sich auf der Grundlage von Lernverfahren. Das Prinzip dieser Lernverfahren kann auch ohne die Formalisierung mathematischer Algorithmen zur Erklärung systeminterner Anpassungsvorgänge verwandt werden. Entsprechend wird die Bedeutung dieser Lernprinzipien in unterschiedlichen Arten der Ordnung (in hierarchischen und nicht-hierarchischen Systemen) thematisiert.

Der Ansatz der evolutorischen Ökonomik ist für das hier behandelte Thema von besonderer Bedeutung, da er die Frage nach der Entstehung neuer, die weitere Entwicklung bestimmender Ideen in seinen Forschungsansatz integriert oder zumindest nicht ausschließt.<sup>4</sup> Folgt man dieser Maßgabe, so ist Lernen nicht allein als eine Anpassung an bestehende Verhältnisse, also im psychologischen Sinn an die Reize der Umwelt oder im ökonomischen Sinn an die Anreize der Umwelt des Handelnden zu verstehen. Es beinhaltet Variation, die Entdeckung neuer Handlungsmöglichkeiten und die Weiterentwicklung des Wissens (Witt, 1990, S.12). Dies schließt den Vorgang der Erkenntnisgewinnung und den Umgang mit bereits gewonnenen Erkenntnissen mit ein. Daher ist auch die Frage, wie aus einer begrenzten Anzahl ähnlicher, aber nicht identischer Ereignisse, auf eine zugrunde liegende Regelmäßigkeit geschlossen wird, von Bedeutung. Diese von Popper mit Bezug auf Hume als das psychologische Induktionsproblem bezeichnete Fragestellung, wird unter dem Aspekt des Lernens diskutiert.

Der Frage, wie Erkenntnisse aus Wahrnehmungsinhalten abgeleitet werden, geht die Frage nach den Möglichkeiten bzw. Grenzen der Wahrnehmung voraus. Verhaltensmodelle implizieren Annahmen bzgl. der Wirklichkeit und

---

<sup>4</sup> Vgl. etwa Witt (1987).

bzgl. des Bildes der Wirklichkeit, welches der Handelnde entwirft. Der Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Bild der Wirklichkeit kann unterschiedlich beschrieben werden. Diese Annahmen werden auf der Grundlage systemtheoretischer Vorstellungen interpretiert.

Im letzten Teil der Arbeit steht die Frage im Vordergrund, welche Folgerungen sich für das ökonomische Verhaltensmodell ergeben, wenn Künstliche Neuronale Netze als Referenzmodell vorausgesetzt werden.

Es wird überlegt, inwieweit die Anwendung Künstlicher Neuronaler Netze mit den Anforderungen des ökonomischen Verhaltensmodelles vereinbar ist.

### 1.3 Anmerkungen zur Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Arbeit werden die behandelten Theorieansätze nicht isoliert dargestellt und bewertet. Für die Bewertung eines Ansatzes wäre die Beschränkung auf einzelne Theoriebereiche oder Methoden notwendig. Auch müssten die Annahmen, die einer Theorie zugrunde liegen, übernommen werden. Im folgenden wird auf Konzepte, Vorstellungen, Ideen etc. aus unterschiedlichen Theoriebereichen Bezug genommen. Die angesprochenen Konzepte, Vorstellungen etc. werden als allgemeine Erklärungsmuster aufgefasst. Diesen wird losgelöst von dem Kontext, in dem sie entwickelt wurden, eine Bedeutung zugemessen.

Wenn ein Konzept oder eine Vorstellung auf neue Anwendungsbereiche übertragen wird, so können sich hieraus neue Erklärungsmöglichkeiten ergeben. Dass eine isolierte Idee in einem neuen Kontext nicht mehr zwingend an die Annahmen der Theorie gebunden ist, aus der sie abgeleitet wurde, kann als Vorteil oder als Nachteil aufgefasst werden. Bei der hier verwandten Vorgehensweise zählt das Kriterium der Nützlichkeit einer Vorstellung, um andere Phänomene zu erklären.

Die Theorie Künstlicher Neuronaler Netze wird hier als ein fächerübergreifender Ansatz interpretiert, aus dem, vergleichbar der Systemtheorie, allgemeine, nicht an einen Anwendungsbereich gebundene, Aussagen abgeleitet werden. Aufgrund dieser kontextungebundenen Betrachtungsweise ergibt sich die Möglichkeit, systemtheoretische Vorstellungen in die Analyse mit einzubeziehen.

Einzelne Theorien, wie z. B. der Ansatz Poppers, werden über mehr als einen Gegenstandsbereich verfolgt. Was den Ansatz von Niklas Luhmann betrifft, so muss die Darstellung auf einen Teilbereich seiner Theorie beschränkt werden. Eine umfassende Darstellung seiner Ideen ist in diesem Rahmen nicht möglich und würde der Zielsetzung der Arbeit nicht entsprechen. Luhmann hat seine Ideen auf ganz unterschiedliche Anwendungsfelder wie z.B. die Wirtschaft oder die Wissenschaft bezogen<sup>5</sup>. Seine Interpretation des Autopoiese-Begriffes und die Übertragung desselben auf die Ökonomie wird in Kapitel 7 thematisiert.

Die nachfolgende Darstellung des Aufbaus der Arbeit gibt einen Überblick über die Fragestellungen, die unter Bezugnahme auf die Eigenschaften Künstlicher Neuronaler Netze behandelt werden.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Nach einer kurzen Erklärung einiger maßgeblicher Begriffe in Kapitel 2 wird in Kapitel 3 eine grundlegende Einführung in die Theorie Neuronaler Netze gegeben. Da im Konnektionismus eine Vielzahl unterschiedlicher Netzwerkmodelle entwickelt wurde, kann hier nur auf maßgebliche Unterschiede zur Charakterisierung unterschiedlicher Netzansätze und auf einige der wichtigsten Lernverfahren eingegangen werden. Diese Darstellung dient als Grundlage für die folgenden Kapitel.

In Kapitel 4 werden maßgebliche Eigenschaften Künstlicher Neuronaler Netze erläutert. Auf einige dieser Eigenschaften wird in den folgenden Kapiteln wieder Bezug genommen.

Kapitel 5 stellt den Unterschied zwischen verschiedenen Arten der Wissensrepräsentation in Künstlichen Neuronalen Netzen dar. Das Prinzip lokaler und verteilter Repräsentation wird erklärt und die Abhängigkeit der Eigenschaften Neuronaler Netze von diesen Prinzipien erörtert. Dieser Darstellung liegt die Frage zugrunde, ob Neuronale Netze mit der Integration symbolischen Wissens als Modelle bspw. für ökonomische Fragestellungen

---

<sup>5</sup> Vgl. Luhmann (1990), die Wissenschaft der Gesellschaft, und Luhmann (1994), die Wirtschaft der Gesellschaft.

anwendbar sind und welche Folgerungen sich aus der Integration symbolischen Wissens für die Eigenschaften eines Netzwerkmodells ergeben.

In Kapitel 6 werden zwei Netzansätze dargestellt, die sich durch die Integration symbolischen Wissens von den gängigen Anwendungen, insbesondere von den in statistischen Anwendungen der Ökonomie üblicherweise genutzten Ansätzen, unterscheiden.

Die Kapitel 7 und 8 beschäftigen sich mit unterschiedlichen Konzepten und Theorieansätzen aus dem Bereich der Sozialwissenschaften.

Der Schwerpunkt in Kapitel 7 liegt auf systemtheoretischen Fragestellungen. Da die Systemtheorie ein Bindeglied zwischen unterschiedlichen Fachdisziplinen darstellt, ermöglicht sie eine fachunspezifische Einordnung unterschiedlicher Eigenschaften. In Abschnitt 7.1 werden zunächst unterschiedliche Kriterien zur Beschreibung von Systemen besprochen. Daran anschließend werden die systemtheoretischen Vorstellungen der strukturellen Koppelung und des konsensuellen Bereiches thematisiert.

Der folgende Abschnitt 7.2 beschäftigt sich mit der System-Umwelt-Beziehung. Die Übertragung des Autopoiese-Begriffs in die Sozialwissenschaften durch den Soziologen Niklas Luhmann wird in Abschnitt 7.3 thematisiert.

Der letzte Abschnitt des Kapitels beschäftigt sich mit der Möglichkeit, eine Verbindung zwischen den dargestellten systemtheoretischen Vorstellungen und dem Prinzip der Selbstorganisation in Künstlichen Neuronalen Netzen herzustellen.

In Kapitel 8 werden im ersten Teil (8.1) zunächst unterschiedliche erkenntnistheoretische Positionen skizziert (Abschnitt 8.1.1). Auf dieser Grundlage wird auch die erkenntnistheoretische Position Karl Poppers dargestellt. Daran anschließend werden die erkenntnistheoretischen Vorstellungen Poppers der Funktionsweise Künstlicher Neuronaler Netze gegenübergestellt (Abschnitt 8.1.2).

Die in Abschnitt 8.1.2 diskutierte Frage der Lösung des psychologischen Induktionsproblems wird in Abschnitt 8.1.3 um die Diskussion des evolutorischen Ansatzes der Entwicklung und Bewährung von Wissen ergänzt. Hierbei wird wiederum auf die Darstellung Poppers Bezug genommen. Dem letzten Teil dieses Abschnittes liegt die Frage zugrunde, ob sich das Verhalten

Künstlicher Neuronaler Netze durch einen unbestimmten bzw. zufälligen Anteil auszeichnet. Abschnitt 8.1.4 beschäftigt sich mit dem Behavioristischen Ansatz zur Erklärung von Verhalten. Im einzelnen wird auf die Prinzipien des klassischen und des instrumentellen Konditionierens Bezug genommen.

Im zweiten Teil des Kapitels (8.2) werden evolutorische und ordnungstheoretische Vorstellungen zur Erklärung individuellen Verhaltens und zur Erklärung des Verhaltens von Systemen dargestellt. Hierbei wird auf den Aspekt der Kreativität, auf die Bedeutung von Musteraussagen zur Verhaltensorientierung und auf den Aspekt der Zeit im Rahmen eines evolutorischen Ansatzes eingegangen. Zuletzt werden die Begriffe Selbstorganisation, spontane Ordnung und Chaostheorie diskutiert.

Im dritten Teil des Kapitels (8.3) werden grundlegende Systemeigenschaften Künstlicher Neuronaler Netze thematisiert. Unter anderem wird am Beispiel künstlich-neuronaler Lernverfahren die von Hesse eingeführte Unterscheidung zwischen 'trivialen' und 'nicht-trivialen Maschinen' um die Definition 'selbstorganisierender Maschinen' erweitert. Desweiteren wird dem Begriff der Selbstorganisation die Funktionsweise eines einfachen Regelkreises gegenübergestellt.

Der letzte Teil des Kapitels (8.4) beschäftigt sich mit den Folgerungen, die sich für den ökonomischen Ansatz ableiten lassen.

Im ersten Abschnitt (8.4.1) wird auf das Systemverhalten in hierarchischen und nicht-hierarchischen Systemen eingegangen. Hierbei steht die Frage im Vordergrund, inwieweit sich das Systemverhalten unter unterschiedlichen institutionellen Gegebenheiten durch den Aspekt der Regelung oder durch den Aspekt der Selbstorganisation auszeichnet und welche Konsequenzen damit verbunden sind. Das Systemverhalten wird also auf der Grundlage der zuvor entwickelten Kriterien bewertet.

Der zweite Abschnitt (8.4.2) beschäftigt sich mit dem ökonomischen Verhaltensmodell. Es wird gefragt, welche Folgerungen sich aus den im ersten Teil des Kapitels getroffenen Aussagen für das ökonomische Modell zur Erklärung von Verhalten ergeben.