



Entwicklungspsychologie

Entwicklungswissenschaft des Kindes- und
Jugendalters

Neuropsychologische, genetische und psychosoziale Aspekte der Entwicklung

Herbert Scheithauer (Hrsg.)
Kay Niebank (Hrsg.)

 **Pearson**

EXTRAS
ONLINE

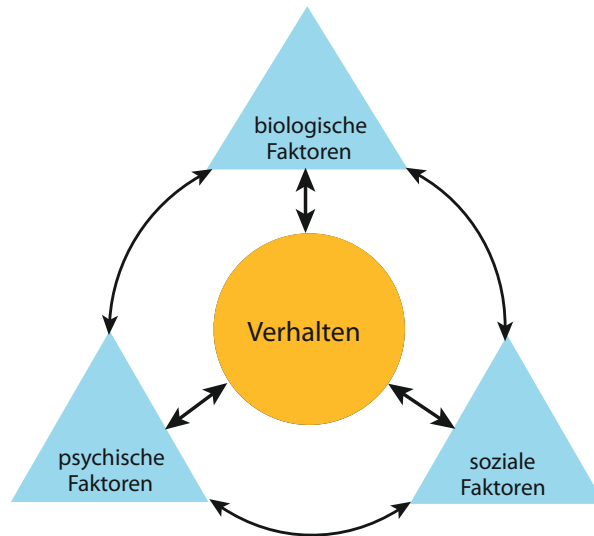


Abbildung 4.3: Biopsychosoziales Modell der Verhaltensentwicklung.

Durch die wechselseitige Beziehung zwischen biologischen, psychischen und sozialen Faktoren werden Ursachenzuschreibungen erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht. Entwicklung erfordert immer die Interaktion zwischen mindestens zwei Komponenten eines Systems – eine Auffassung, die im Widerspruch zur linearen und unidirektionalen Sichtweise steht. Entwicklungsmodelle sollten die Wirkung biopsychosozialer Faktoren sowie die Wechselwirkung zwischen ihnen abbilden können. Sie müssen berücksichtigen, dass beispielsweise der Verlauf der Hirnreifung auch Umwelteinflüssen unterliegt, dass geschlechtsspezifisches Verhalten nicht einfach genetisch prädisponiert ist, sondern unter anderem durch Hormone, Sozialisation und Rollenerwartungen vermittelt wird, oder dass die Wirkung von Kontextbedingungen auch von der Interpretation durch das Individuum abhängig ist (vgl. Niebank et al., 2000).

- Die Entwicklung eines Kindes kann als ein Ergebnis kontinuierlicher, dynamischer Wechselwirkungen zwischen dem Kind und seinen bisherigen Erfahrungen, seinen Bezugspersonen und seiner weiteren sozialen Umwelt aufgefasst werden.
- Die Entwicklung im Säuglingsalter ist durch sensible Phasen gekennzeichnet, in denen Wechselwirkungen zwischen dem biologischen, psychischen und psychosozialen Regulationssystem stattfinden sowie zwischen den einzelnen Systemen und der sozialen Umwelt (Sameroff, 1995).
- Diesen komplexen Wechselwirkungen entspringen die für eine Entwicklungsperiode typischen neurobiologischen Strukturen, die kognitiv-emotionalen Kompetenzen und Verhaltensweisen des Kindes sowie seine charakteristischen sozialen Interaktionen (Schore, 1994; Sroufe, 1996).

Um Entwicklungsprozesse zu verstehen, muss zumindest die transaktionale Beziehung zwischen den Systemen Genotyp, Phänotyp und Umweltfaktor berücksichtigt werden. Gottlieb nimmt eine noch weiter gehende Differenzierung vor, indem er die individuelle Entwicklung

auf drei funktionalen organismischen Ebenen (genetische Aktivität, neuronale Aktivität und Verhalten) und der Umweltebene betrachtet (vgl. Gottlieb et al., 1998). Die Umweltebene unterteilt er weiter in physische, soziale und kulturelle Komponenten (siehe ► *Abbildung 4.4*). Diese Darstellung der Entwicklung umfasst eine zeitliche Beschreibung der Aktivität auf allen vier Ebenen und die bidirektionale Wirkung solcher Aktivitäten zwischen den Ebenen.

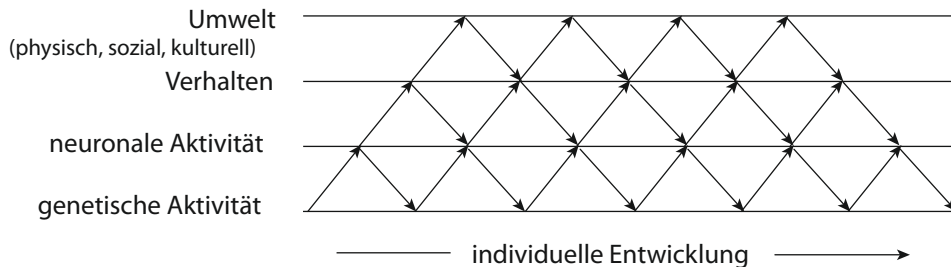


Abbildung 4.4: Modell des psychobiologischen Systemansatzes der Entwicklung (modifiziert nach Gottlieb et al., 1998).

Gegenüber der bisher vorherrschenden einseitigen Sichtweise halten Cicchetti und Tucker (1994) das Anlage-Umwelt-Interaktionsmodell zweifellos für einen Fortschritt für die angemessene Beschreibung des Entwicklungsprozesses. Sie sehen es aber dennoch als unzulänglich an, weil es die Kausalitätstrennung zwischen genetischen Faktoren und Umweltfaktoren beibehält. Nach ihrer Ansicht sind ultimative kausale Erklärungen – angesichts der Komplexität des menschlichen Gehirns und seiner Fähigkeit zur dynamischen Selbstorganisation – nur für den groben allgemeinen Umriss des Entwicklungsverlaufs möglich. Notwendig wäre daher die Entwicklung eines neuen Ansatzes, einer Theorie der **selbstorganisierenden Komplexität**.

4.6 Selbstorganisierende Systeme

4.6.1 Systeme

Mehrere durch Wechselwirkung miteinander verbundene Elemente, wie zum Beispiel die Bestandteile einer Zelle, die Zellen eines Gehirns oder die Mitglieder einer Familie, werden als System bezeichnet. Je nachdem, mit welchen mathematischen Gleichungen ihre Entwicklung beschrieben werden kann, werden lineare und nichtlineare Systeme unterschieden.

Definition Lineare und nichtlineare Systeme

- In **linearen** Systemen erlaubt eine ungefähre Kenntnis der Anfangsbedingungen eine Vorhersage der Entwicklung.
- Kennzeichnend für **nichtlineare** Systeme ist ihre Sensibilität gegenüber Anfangsbedingungen und ihre Offenheit gegenüber Umgebungsverhältnissen, die die Grundlage für ihre Instabilität, aber auch für ihre Anpassungsfähigkeit bildet.

Winzige Abweichungen können in nichtlinearen Systemen durch Rückkopplung verstärkt werden und rasch an Bedeutung gewinnen (Schmetterlingseffekt). Das System kann bei nichtlinearer Wechselwirkung seiner Komponenten leicht mehr sein als die Summe seiner Teile, d.h. subtile Veränderungen der Situation können zu unvorhersehbaren Veränderungen führen. Rückkopplungen können jedoch auch das Gegenteil bewirken, dass nämlich trotz sich verändernder Umweltbedingungen das System in einem stabilen Zustand verharrt (z.B. gleichbleibende Körpertemperatur bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur). Die Dynamik eines offenen Systems kann zu einer enormen Komplexität führen. Von Bertalanffy (1968) sieht darum das traditionelle Ziel der Wissenschaft, Realität in kleinere Komponenten aufzuteilen, um lineare Kausalbeziehungen zu verstehen, als nicht angemessen zur Untersuchung komplexen Verhaltens an.

Im Gegensatz zu mechanischen, deterministischen Systemen, für die das Ergebnis völlig vorhersagbar ist, wenn die Ausgangsbedingungen und später einwirkende Kräfte bekannt sind, ist es bei lebenden Systemen unmöglich, aufgrund einer einzigen Ursache ihre Entwicklung zu beschreiben oder vorherzusagen. Der Grund dafür ist, dass sie nicht einfach auf Einflüsse reagieren, sondern selbstorganisierend und selbstkonstruierend sind, und dies innerhalb von Umwelten, die ihrerseits selbstorganisierend und selbstkonstruierend sind (vgl. Molenaar, Lerner, & Newell, 2014).

Ein sich entwickelnder Organismus ist ein **dissipatives System**, d.h. er ist offen für Einflüsse seiner Umwelt und von diesen Einflüssen abhängig (z.B. im einfachsten Fall durch Aufnahme von Energie). Aus dieser Sicht lassen sich Organismen als Durchgangsstadien betrachten, durch die Materie und Energie hindurchfließen. In einem offenen System finden aufgrund interner Interaktionen und Wechselbeziehungen zwischen dem Organismus und seiner Umwelt irreversible Veränderungen statt. Aufgrund der nichtlinearen Beziehung zwischen seinen Komponenten können kleine Störungen oder Fluktuationen des Gleichgewichts eines Systems zur spontanen Entstehung neuer Ordnung oder Struktur führen (vgl. Wimmers, Beek, Savelsbergh, & Hopkins, 1998). Auch können Perioden struktureller Stabilität von plötzlichen Organisationsänderungen unterbrochen werden, die zu einem qualitativ anderen stabilen Verhaltensmodus führen (vgl. van der Maas & Hopkins, 1998). Kennzeichnend für einen nichtlinearen dynamischen Prozess können im Entwicklungsverlauf Diskontinuitäten, abrupte Wechsel, Übergänge, Instabilitäten und Regressionen auftreten (vgl. Wimmers et al., 1998).

Ein gut untersuchtes Beispiel für dieses Phänomen ist die Übergeneralisierung im Verlauf des Spracherwerbs (siehe *Kapitel 7*). Aus der Entwicklungspsychologie sind inzwischen viele solcher scheinbaren Kompetenzverminderungen beim Übergang von einer Entwicklungsstufe zur nächsten bekannt, die zeigen, dass sich kontinuierlich verändernde Ursachen (z.B. wachsende Zahl erlernter Worte) eine Diskontinuität – plötzliche Sprünge – in der Entwicklung zur Folge haben können.

Der **dynamischen Systemtheorie** (DST) zufolge ist der Zustand des Systems von der Natur des Organismus innerhalb des gesamten Kontextes, unter Berücksichtigung komplexer Interaktionen zwischen Systemkomponenten, abhängig. Nach Ansicht von Coleman und Watson (2000) weist das Bindungsverhalten von Kindern in den ersten drei Lebensjahren viele dynamische Merkmale auf. Die dynamische Systemtheorie könnte sich darum als

nützlich für die Erforschung der Bindung bei kleinen Kindern herausstellen. So findet sich die grundlegende Eigenschaft dynamischer Systeme, selbst auf geringfügige Variationen in Umweltelementen manchmal mit weitreichenden Veränderungen zu reagieren, auch im entstehenden Bindungssystem. Wenn beispielsweise ein Elternteil plötzlich belastende Lebensereignisse erfährt – wie etwa drohende Arbeitslosigkeit oder den Tod eines nahestehenden Menschen – und darum geringere Feinfühligkeit für die Bedürfnisse des Kindes zeigt, kann dies zu qualitativen Veränderungen im Bindungssystem führen. Die dynamische Systemtheorie geht auch davon aus, dass das System seinerseits den Kontext beeinflussen kann. In unserem Beispiel könnte das Kind vermehrt unsicheres Bindungsverhalten zeigen, und so das Elternteil zu verstärkten Anstrengungen veranlassen, das Gefühl der Sicherheit beim Kind wiederherzustellen.

Unterscheidungen zwischen biologischen Elementen und Umweltelementen sind nicht haltbar, da es unmöglich ist, das Verhalten vom Kontext zu trennen und weil Subsysteme der Umwelt einen wichtigen Beitrag zur Bildung des Gesamtsystems leisten (Smith & Thelen, 1993). Ein dynamisches System ist daher durch beträchtliche lokale Unvorhersagbarkeit gekennzeichnet, d.h. individuelle Entwicklungspfade lassen sich nicht genau vorher sagen. Die Vorhersage globaler Ergebnisse ist mit der DST aber durchaus vereinbar (Smith & Thelen, 1993): Neue Verhaltenszustände stellen sich, der DST entsprechend, dann ein, wenn Systemkomponenten bestimmte kritische Werte überschreiten oder sich die Beziehungen unter den Komponenten ändern. Entwicklungsveränderungen können sich als eine spontane systematische Neuorganisation von Subsystemen darstellen, die stattfindet, wenn alle notwendigen Komponenten vorhanden sind. Ontogenetische Veränderungen sind möglicherweise nicht epigenetisch kontrolliert – folgen also keinem „Bauplan“ –, sondern ergeben sich aus Veränderungen bestimmter Systemkomponenten (Fogel & Thelen, 1987).

4.6.2 Selbstorganisation

Gelegentlich wird der sehr früh im Entwicklungsverlauf mögliche Nachweis für die Existenz eines Merkmals als Beweis dafür gesehen, dass dieses Merkmal angeboren, naturgegeben oder genetisch bedingt ist. Die Begriffe **Anlage** – **genetisch bedingt** – **angeboren** werden häufig synonym verwendet, obwohl sie es nicht sind:

- Unter **Anlage** werden alle physischen und psychischen Merkmale zusammengefasst, die üblicherweise für erblich gehalten, also von Generation zu Generation durch DNS-Unterschiede weitergegeben werden.
- Als **genetisch bedingt** gilt ein Merkmal, wenn es auf Veränderungen des Genoms beruht. Allerdings sind nicht alle genetisch bedingten Einflüsse auf die Entwicklung erblich, sondern können auch auf pränatalen Veränderungen (z.B. Strahlen) oder chromosomalen Abweichungen beruhen (z.B. das Down-Syndrom).
- Auch **angeborene** Merkmale müssen nicht notwendigerweise vererbt oder genetisch sein. Sie können auf vorgeburtlichen Entwicklungsstörungen durch Vergiftungen oder Verletzungen (Teratogene, Drogen- oder Medikamentenkonsum der Mutter, Umweltgifte, Infektionen) beruhen.

Zu sagen, *etwas sei angeboren*, ist aber meist auch gleichbedeutend mit dem Versuch, es der wissenschaftlichen Analyse zu entziehen. Anders als das Label „angeboren“, das wenig zur Aufklärung zugrunde liegender Mechanismen beiträgt, scheint „früh erworben“ die Frage nach der Entstehung einer Kompetenz aufzuwerfen. Meist lassen Verhaltensmerkmale jedoch keine Rückschlüsse auf ihre Ursachen zu. Fast alles, wofür eine genetische Grundlage unterstellt wird, lässt sich ebenso gut durch Umwelteinflüsse erklären. Zum Beispiel lassen sich alle Indizien, die genetische Entwicklungsmodelle der Schizophrenie oder der affektiven Psychose stützen, ebenso gut durch andere Faktoren, wie etwa eine Virusinfektion im Mutterleib, begründen (vgl. Horgan, 1993). Einen Beweis dafür, dass selbst angeborene Merkmale nicht genetisch determiniert sein müssen, lieferte Gottlieb. Er demonstrierte, dass Entenküken, die nicht früh im Leben dem artspezifischen Ruf ihrer Mutter ausgesetzt waren, stattdessen auf den Ruf von Weibchen einer anderen Gattung reagieren können und auf diesen Ruf für den Rest ihres Lebens hören (zusammenfassend in Gottlieb, 1996).

Wie aber ist es möglich, dass sich komplexe Verhaltensweisen oder Strukturen entwickeln, ohne „vorprogrammiert“ oder schon bei der Geburt „fest verdrahtet“ zu sein? Lassen wir dabei mal außer Acht, dass uns auch keine brauchbare Theorie vorliegt, wie es zu einer solchen Programmierung kommen sollte. Eine mögliche Erklärung, wie es, im Widerspruch zu der vertrauten Weisheit „von nichts kommt nichts“, doch zur Entstehung früher Kompetenzen kommen kann, liefert die Theorie der Selbstorganisation.

Definition

Selbstorganisation

Bei der Selbstorganisation handelt es sich um einen Prozess, durch den ein offenes System einen neuen Zustand einnimmt, ohne spezifischen, lenkenden Einfluss von außen, ohne einen Bauplan oder einen Schöpfer (vgl. van der Maas & Hopkins, 1998). Sie lässt sich auch als Eigenschaft eines Systems definieren, aus sich selbst heraus eine neue räumliche, zeitliche und funktionale Struktur zu erlangen.

Diese Ordnungserhöhung wird nur durch einen Prozess innerhalb des Systems selbst verursacht, der sich aus der Wechselwirkung von Eigenschaften des Systems und seiner Umwelt ergibt. Selbstorganisierende Systeme sind in der Lage, neue interne Repräsentationen in Reaktion auf sich verändernde Umweltbedingungen zu schaffen (Schore, 1997). Der Prozess der Selbstorganisation, die Ordnungserhöhung innerhalb des Systems, entsteht durch zahllose Interaktionen zwischen den Systemkomponenten auf niedrigerer Ebene. Die diesen Interaktionen zugrunde liegenden Regeln werden ausgeführt, indem nur lokale Informationen benutzt werden, ohne Bezug auf globale Muster. So beruht z.B. in einem Fischschwarm das Verhalten jedes Individuums lediglich auf der Wahrnehmung seines nächsten Nachbarn, nicht auf dem Wissen über das globale Verhalten des Schwarms (vgl. Camazine et al., 2001). Ähnlich verhält es sich mit dem Keilflug von Zugvögeln. Das Muster ergibt sich daraus, dass die Anordnung Energie spart, weil die durch die Flügelspitzen

der Vorausfliegenden erzeugten Luftwirbel für zusätzlichen Auftrieb für die schräg hinter ihnen fliegenden Vögel sorgen. Wenn sie zudem noch ihren Flügelschlag anpassen, ist ihr Puls deutlich niedriger als der der voranfliegenden Vögel (Portugal et al., 2014). Werfel, Petersen und Nagpal (2014) konnten ein solches Schwarmverhalten nachahmen und identische Roboter durch wenige einfache Regeln dazu bringen, komplexe Bauwerke zu errichten, ohne dabei vorgefertigte Pläne umzusetzen, wie es auch bei Termiten geschieht. Anders als bei planvollem Handeln können auch einzelne Roboter ausfallen, ohne dass das Projekt scheitert. Nur die Arbeitsleistung verringert sich.

Sich entwickelnde Systeme sind in dem Sinne selbstorganisierend, dass sie neue Verhaltensformen auf nichtlineare Weise hervorbringen (vgl. Wimmers et al., 1998). So ergeben sich koordinierte Handlungen, wie etwa Veränderungen im Greifverhalten oder die Phasen des Laufenlernens (vgl. Thelen & Smith, 1998), aus komplexen Interaktionen zwischen Subsystemen auf mikroskopischen Organisationsebenen (z.B. neural, viszeral, muskulär oder skelettal) und nicht aufgrund dem System vorgeschriebener Reifungsschritte. Im Sinne der Selbstorganisation kann Entwicklung als deterministischer und gleichzeitig stochastischer Prozess gesehen werden, d.h. Eigenschaften entstehen aus der Interaktion zwischen genetisch determinierten Reifungsvorgängen und teilweise zufälligen Umwelteinflüssen.

Das Vorhandensein von Selbstorganisationsprozessen ist deshalb so wichtig für den Bereich der kognitiven Entwicklung, weil es bedeutet, dass frühe Kompetenzen und geordnete universelle Entwicklungsverläufe nicht zwangsläufig auf angeborenen Strukturen beruhen müssen. Vielmehr können einschränkende Rahmenbedingungen (**Constraints**) inner- und außerhalb des Organismus darüber entscheiden, welchen Verlauf die Entwicklung nimmt (Krist et al., 1998). Unter dem Begriff Constraints werden verschiedene Einschränkungen und Gesetzmäßigkeiten zusammengefasst, Grenzbedingungen, die entweder durch dem System innewohnende Faktoren oder durch Umweltfaktoren bestimmt werden. Constraints beruhen nicht auf einzelnen Komponenten eines Entwicklungssystems, sondern auf der Beziehung zwischen den Komponenten (vgl. Oyama, 1993).

Auf neuronaler Ebene können vergleichbare Prozesse die Ursache für die im Groben ähnliche Furchung menschlicher Gehirne sein. Vermutlich erlaubt die Faltung der Großhirnrinde eine höhere Neuronendichte und verkürzt den Weg für neuronale Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Hirnarealen. Zu dieser Annahme passen auch die Erkenntnisse von Luders et al. (2004), dass die Großhirnrinde bei Frauen deutlich stärker gefurcht ist als bei Männern. Um auf durchschnittlich kleinerem Raum im Schädelinnern eine vergleichbar komplexe und somit große Hirnoberfläche unterzubringen, muss diese mehr Windungen aufweisen. Nach einer Hypothese windet sich das Großhirn in seine Form unter dem Einfluss physikalischer Kräfte während des Wachstums. Tallinen et al. (2016) überprüften diese Hypothese mit 3-D-Modellen von Gehirnen aus einem elastischen, aber formfesten Kunststoff. Ein künstliches Wachstum ließ die äußere Schicht unter dem Druck der künstlichen Hirnschale immer mehr Falten werfen, die denen echter Gehirne glichen.

Exkurs

Schneeflocken unter der Lupe

Ein gutes Beispiel für die Wirkung von Constraints sind Schneeflocken. Auf den ersten Blick gleicht eine Schneeflocke der anderen, aber unter der Lupe oder dem Mikroskop offenbaren sie sich als filigrane Gebilde von großem Formenreichtum. In Abhängigkeit von der Wolkentemperatur bilden sich Nadeln, Sterne mit verzweigten Strahlen (Dendriten), Plättchen oder Säulen. Immer aber sind die Kristalle sechseckig. Diese Formen sind ganz sicher nicht zufällig, beruhen aber auch nicht auf einem „Bauplan“, sondern ergeben sich aus der komplexen Interaktion der Eigenschaften der Wassermoleküle und der Umgebungseigenschaften. Ihre Entstehung wird gelenkt durch die zusammenwirkenden und sich gegenseitig begrenzenden Constraints, zu denen die Temperatur gehört wie auch die Eigenart von Wassermolekülen, sich im Winkel von 120° anzuordnen und so nur sechseckige Kristalle zuzulassen.



Aufgrund der nichtlinearen Interaktion können komplexe Verhaltensweisen auch entstehen, obwohl die Komponenten des Systems einfach sind und einfachen Regeln folgen. Allerdings sind Selbstorganisationsprozesse in Lebewesen aufgrund der Vielzahl beteiligter Einflussgrößen meist äußerst komplex, sodass zur Demonstration doch gern auf einfachere physikalische Systeme zurückgegriffen wird. Die Mechanismen der Selbstorganisation in biologischen Systemen (lebende Organismen) unterscheiden sich von denen in physikalischen Systemen (z.B. Sandkörner, chemische Reaktionen) durch eine größere Komplexität der Untereinheiten und durch die Art der in ihnen wirksamen Regeln (Camazine et al., 2001). Während die Musterbildung in physikalischen Systemen nur auf physikalischen Gesetzen wie Schwerkraft, Oberflächenspannung oder Viskosität beruht, werden in lebenden Systemen zusätzlich die physiologischen und Verhaltensinteraktionen zwischen den Komponenten durch genetisch kontrollierte Merkmale der Komponenten beeinflusst. Dabei gehorchen die Gene chemisch-physikalischen Gesetzen. Sie steuern das System nicht, sondern sind Bestandteile eines selbstorganisierenden Systems (Gottlieb et al., 1998). Noch komplexer wird die Musterbildung verständlicherweise für soziale Systeme.

Von **Selbstorganisation** kann gesprochen werden, wenn die dynamische Interaktion eines Systems mit seiner Umwelt zur Bildung von Strukturen führt. Diese Definition macht deutlich, dass Selbstorganisation auch ein grundlegendes Merkmal des Gehirns ist. Entsprechend versuchten Mareschal und Thomas (2000) die Entwicklung des Gehirns als selbstorganisierendes System zu beschreiben, das anfänglich noch undifferenziert ist, doch aufgrund geringfügiger adaptiver Veränderungen beginnt sich unter den Systemelementen eine Ordnung herauszubilden. Diese Veränderungen können sich verstärken und zu einer positiven Rückkopplung führen. Positive und negative Rückkopplungen stellen grundlegende Formen der Interaktion zwischen den Komponenten eines selbstorganisierenden Systems dar. Beide Rückkopplungsschleifen ergänzen sich gegenseitig und bilden einen sehr wirksamen Mechanismus, um Muster und Strukturen zu schaffen. Begrenzte Ressourcen können zu Wettbewerb und Selektion bei den Veränderungen führen (z.B. „Neuraldarwinismus“ oder „Hebbsche Regel“, siehe *Kapitel 3*) und geordnete Verbindungsmuster bewirken, die ihrerseits in strukturiertem Verhalten resultieren.

Welche spezifischen Selbstorganisationsprozesse im Gehirn letztlich zu qualitativen Veränderungen führen, ist bisher kaum geklärt und nur wenig untersucht (vgl. Hartelman, van der Maas, & Molenaar, 1998; Ruhland & van Geert, 1998). Gegenwärtig ergeben sich die gefundenen Hinweise vor allem aus Computersimulationen. Gestützt auf den **konnektionistischen Ansatz** versucht man mithilfe künstlicher neuronaler Netze zu demonstrieren, dass Mechanismen, die in psychologisch relevanten Bereichen zu Entwicklungsübergängen führen, auf Selbstorganisation beruhen.

4.6.3 Künstliche neuronale Netze

Wie nichtlineare Systeme selbst ändern auch Modelle nichtlinearer Systeme ihr Verhalten auf komplizierte, nicht vorhersagbare Art, sobald Parameter modifiziert werden. Erst der Einsatz leistungsfähiger Computer hat es ermöglicht, relativ leicht Arbeitsmodelle zu konstruieren, mit deren Hilfe sich das Verhalten nichtlinearer Systeme simulieren lässt. Um unser Verständnis von Systemen fördern zu können, müssen am Computer realisierte Modelle nicht nur biologisch plausibel sein, sondern auch andere Merkmale natürlicher Systeme aufweisen, wie Phasenübergänge im Verhalten und die Fähigkeit, ohne vorhergehende programmierte Instruktionen lernen zu können (vgl. van der Maas & Hopkins, 1998). In Simulationsstudien kann gezeigt werden, wie sich beispielsweise die frühe Wissensentwicklung modellieren lässt, indem einige wenige Parameter (Constraints) des Informationsverarbeitungssystems und der Lernumwelt festgelegt werden. Sie erlauben Rückschlüsse darauf, wie einzelne Subsysteme miteinander verschaltet sind oder welche interne Struktur sie aufweisen (vgl. Krist et al., 1998).

Die Modellbildung erfordert es häufig, verbale Beschreibungen der Interaktionen innerhalb eines Systems in eine mathematische Form, z.B. eine Simulation oder einen Satz von Gleichungen, zu übertragen. Hauptziel der Modellbildung ist zu überprüfen, ob die durch empirische Analysen identifizierten Prozesse tatsächlich für die beobachteten Eigenschaften oder das Verhalten des Systems verantwortlich sind. Mathematische Gleichungen und Computer ermöglichen die Vorhersage der Eigenschaften komplexer Systeme und bieten eine Möglichkeit, die Vorstellungen von den in einem System wirksamen Mechanismen zu prüfen (Camazine et al., 2001).

Der **konnektionistische Ansatz**, der auf viele Themen in der Kognitions- und Neurowissenschaft angewandt wird, versucht, Verhaltensphänomene mithilfe von Netzen einfacher, neuronentartiger Verarbeitungseinheiten zu erklären. Verglichen mit Computerschaltkreisen sind Neurone relativ langsam, sie arbeiten im Millisekundenbereich, sind aber dank ihrer Vernetzung untereinander in der Lage, Informationen parallel zu verarbeiten. **Künstliche neuronale Netze** sind an diese Form der neuronalen Informationsverarbeitung angelehnt. Sie umfassen einfache Verarbeitungseinheiten („Units“) idealisierter Neurone, die miteinander in Netzen verbunden sind und über einige der Eigenschaften echter Neurone verfügen: Jede dieser Einheiten besitzt eine Vielzahl von Eingängen und fördert oder hemmt die Aktivität ihrer Nachbarn, abhängig von der Stärke der Verbindungen zwischen ihnen. Die Einheiten „berechnen“ gewöhnlich die gewichtete Summe aller „Inputs“, stellen ihr eigenes Aktivierungsniveau ein als nichtlineare Funktion dieser gewichteten Summe und geben einen einzelnen „Output“ über das „Axon“ aus, wenn die Summe der Eingangssignale einen Schwellenwert überschreitet (vgl. Crick, 1989).

Die Kernidee des konnektionistischen Modells ist die gemeinsame Verrechnung, d.h. obwohl das Verhalten der Einzelkomponenten einfach ist, kann das Verhalten des Netzes als Ganzes sehr komplex sein (Mareschal & Thomas, 2000).

Das neuronale Modell assoziativer Netze beruht auf der Umsetzung der **Hebbschen Lernregel**: Die synaptische Verbindung zwischen zwei Nervenzellen verstärkt sich, wenn sie gleichzeitig einem Reiz ausgesetzt werden. Eine ähnliche Kopplung findet statt, wenn zwei unterschiedliche Reize (z.B. Ton und Futtergabe) gleichzeitig oder kurz nacheinander an zwei Nervenzellen auftreten. In assoziativen Netzen verändert jeder neue Gedächtnisinhalt die Kontakte zwischen den Nervenzellen, die durch den neuen Inhalt angesprochen werden (siehe ► *Abbildung 4.5*).

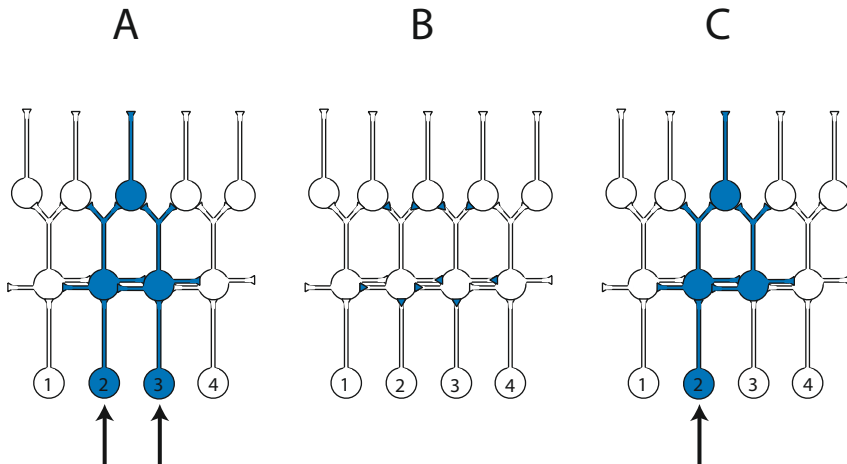


Abbildung 4.5: Neuronales Modell assoziativer Netze. Die gemeinsame Aktivierung von Neuronen (A) verstärkt die synaptische Verbindung zwischen den beteiligten Nervenzellen (B) und führt zu einer Koppelung (C). Die so entstehende Nervenzellgruppe wird schon durch einen der beiden ursprünglich notwendigen Reize (2 oder 3) aktiviert.

Nervenzellen repräsentieren jedoch nicht die Gedächtnisinhalte, und das Gedächtnis beruht auch nicht auf der Veränderung einzelner Neurone, sondern die physiologische Entsprechung eines Gedächtnisinhalts besteht in dem einzigartigen, zeitlich-räumlichen Aktivitätsmuster untereinander verbundener Neurone (vgl. Laroche, 2002).

Neuronale Netze bestehen aus mindestens zwei Schichten, der Input- und der Outputschicht. Häufig ist aber noch mindestens eine Zwischenschicht („*hidden unit*“) eingefügt, weil erst dreischichtige Netze komplexe Input-Output-Beziehungen erlauben (siehe ► *Abbildung 4.6*). Als Faustregel kann gelten, dass ein Netz mit drei verborgenen Schichten der Normalfall ist. Sind es weniger, leidet das Lernen, sind es mehr, die Generalisierung des Erlernten (Mareschal & Thomas, 2000).

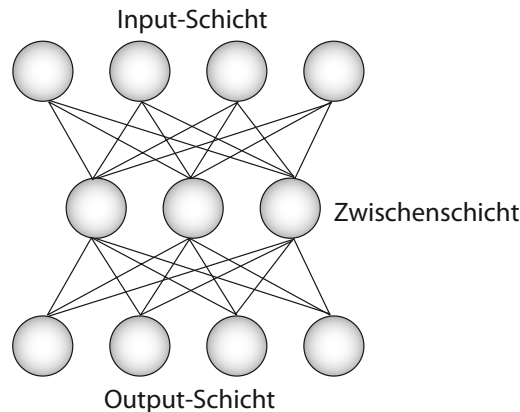


Abbildung 4.6: Neuronale Netze mit zwei und drei (inkl. „*hidden unit*“) Schichten.

Gewöhnlich werden künstliche neuronale Netze als Berechnungsmodelle umgesetzt, die vor allem zwei Aufgaben erfüllen: Die Gedächtnisspeicherung und die Mustererkennung. Im Gehirn findet die Gedächtnisspeicherung auf völlig andere Art statt als in einem Computer, nämlich in Form von Aktivitätsmustern innerhalb eines Netzes synaptischer Verbindungen. Sie umfasst das Einspeisen, Speichern und Abrufen von Informationen, wobei die Speicherung vermutlich keine neuronale Aktivität benötigt, sondern eingebettet ist in die Stärke der zahllosen Verknüpfungen oder Synapsen. Neben der Speicherung von Informationen können Netze auch dazu dienen, Kategorien zu extrahieren, d.h. sie suchen nach Regelmäßigkeiten, Zusammenhängen oder Mustern in den eingehenden Signalen und versuchen, diese in ihre Leistung zu übernehmen (vgl. Crick, 1989). Das Erkennen z.B. von Wörtern und Gesichtern anhand von Beispielen findet als graduelle Veränderung der Gewichtungen von Verbindungen zwischen Einheiten statt, wodurch innerhalb des Netzes ein spezifisches Aktivierungsmuster entsteht. Eine wichtige Eigenschaft neuronaler Netze ist ihre Fähigkeit, strukturelle Regelmäßigkeiten aus relativ verrauschten Input-Daten zu gewinnen, aus Daten also, die noch viele irrelevante Informationen aufweisen. Diese Eigenschaft ist vergleichbar damit, wie Kinder unter natürlichen Bedingungen Sprache erwerben (siehe *Kapitel 7*).

Künstliche neuronale Netze haben sich als ein wichtiges Werkzeug zur Untersuchung der Selbstorganisation in der kognitiven Entwicklung erwiesen. Sie ermöglichen zu untersuchen, wie unterschiedliche Constraints eines Systems mit der Umwelt interagieren, um zu dem beobachteten Systemverhalten zu führen. Aus der Entwicklungsperspektive sind konnektionistische Modelle ein ideales Vorgehen, weil sie ihre eigene interne Repräsentation als Ergebnis von Interaktionen mit der Umwelt entwickeln. Sie sind jedoch keine einfachen empirischen *Tabula-rasa*-Lernmaschinen. Ihre Repräsentationen können sehr stark durch anfängliche Constraints bestimmt sein (vgl. Mareschal & Thomas, 2000). Zu diesen Constraints gehören z.B. die Architektur des Netzes, seine Lernalgorithmen und seine Aktivierungsdynamik. Sie bestimmen sowohl die Art der Aufgabe, die das Netz erfüllen soll, als auch, wie das Lernen stattfindet (vgl. Karmiloff-Smith et al., 2002). Die Constraints können auch so verändert werden, dass das Netz eine atypische, pathologische Entwicklung simuliert. So bietet sich die Möglichkeit zu erforschen, wie Abweichungen in der Selbstorganisation zu abweichendem Verhalten führen können. Durchläuft das System den Entwicklungsprozess mit diesen Constraints, kann das Ergebnis ein System sein, das Verhaltensbeeinträchtigungen aufweist (vgl. Karmiloff-Smith et al., 2002).

Mareschal und Thomas (2000) nennen drei wichtige Punkte, die sich aus der Arbeit an „pathologischen“ neuronalen Netzen ergeben:

1. Ein Funktionsverlust in den Leistungen des Netzes beruhte nicht auf dem Entfernen bestimmter Teile des Netzes, die für diese Funktion verantwortlich waren. Die Funktion war das Ergebnis des Entwicklungsprozesses.
2. Veränderungen in den anfänglichen Bedingungen des Netzes veränderten den Entwicklungsverlauf, dem es folgte. Die selektiven Verhaltensdefizite, die ein sich atypisch entwickelndes System letztlich zeigt, sind das Ergebnis eines Entwicklungsprozesses, der aufgrund anderer anfänglicher Constraints einem alternativen Verlauf gefolgt ist. Das System ist **qualitativ** anders und nicht ein normales System mit einigen fehlenden Elementen.
3. Das Ergebnis der abweichenden Entwicklung ist vielleicht keine allgemeine Beeinträchtigung, sondern ein Muster von Stärken und Schwächen. Die Repräsentationen könnten auf eine Art verändert sein, die gut für einige Aufgaben ist und schlecht für andere. Somit können Kontextbedingungen zu überlegener Diskrimination, aber verschlechterter Generalisierung führen. Selbst unbeeinträchtigt erscheinende Fähigkeiten können infolge gestörter Entwicklung durch qualitativ andere kognitive Prozesse erworben werden.

Wie Spitzer (1997) zusammenfassend beschreibt, zeigen verschiedene Typen neuronaler Netze Leistungen, die Beobachtungen aus dem Bereich der menschlichen kognitiven Entwicklung ähneln. Ebenso wie besondere Fähigkeiten mit einer Vergrößerung der kortikalen Repräsentation dieser Fähigkeiten einhergehen (Plastizität, siehe *Abschnitt 3.3*), rekrutieren auch bestimmte neuronale Netze für häufige Eingangssignale selbsttätig mehr „Neurone“. In anderen Netzen führen dargebotene Sätze zu einer geordneten Repräsentation der Wörter nach Ähnlichkeit und grammatikalischer Kategorie. Das Netz hat also ohne explizit vorgegebene Regeln die Regelmäßigkeit des Inputs erkannt. Für das Erlernen komplexer Strukturen, wie zum Beispiel der Sprache, scheint es förderlich zu sein, dass das Gehirn,

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwort- und DRM-Schutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: **info@pearson.de**

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten oder ein Zugangscode zu einer eLearning Plattform bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.** Zugangscodes können Sie darüberhinaus auf unserer Website käuflich erwerben.

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

<https://www.pearson-studium.de>