

Referat-Thema  
Neokonnektionistische Erklärungsansätze

Hochschule  
Pädagogische Hochschule Heidelberg

Seminar  
Psychologische Erklärungsansätze des normalen und gestörten  
Sprachlernens

Semester  
Sommersemester 2006

Dozent  
Prof. Dr. Werner Kany

Student  
Ralph Schumacher

# Inhalt

1. Konnektionistische Modellierung
2. Grundlegende Begriffe
3. Lernen
4. Bedeutung der konnektionistischer Modellierung für den Spracherwerb

# 1. Konnektionistische Modellierung

Connect (engl.) = verbinden, verknüpfen, verschalten

Ein konnektionistisches Netz hat zwei Eigenschaften:

- Netzwerk (Fischernetz mit Verbindungen und Knoten)
- Einfache (Verbindungs-)Prinzipien erzeugen komplexes Verhalten

Ein konnektionistisches Netz ist ein in sich selbstorganisierendes System, das aus einfachen Prinzipien komplexes Verhalten hervorbringt.

## Analogien hinsichtlich der Komplexität aus einfachen (Bau-)Prinzipien

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	0

Einfache „kurze und lange Tonfolgen“ ermöglichen ein komplexes Kommunikationssystem



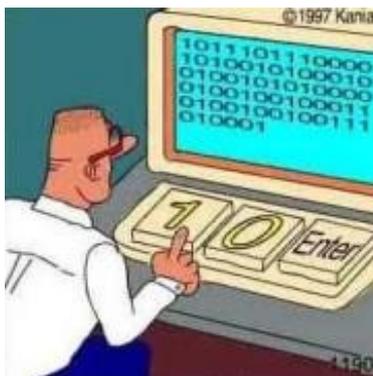
DNA, der Träger genetischer Information aller höherentwickelten Organismen. Ein Gen ist eine bestimmte Sequenz von Basen (Adenin, Guanin, Cytosin, Thymin und Uracil) einer DNA-Helix und damit Grundlage einer spezifischen Information eines Erbfaktors.

Die Möglichkeiten der Kombinationen sind unendlich.

Computer arbeiten mit dem Binärcode.

Grundlage eines jeden Binärcodes ist ein so genanntes Binäres System, d.h. ein System, in dem nur ausschließlich zwei gegensätzliche Zustände herrschen, zum Beispiel An/Aus, Strom fließt/Strom fließt nicht.

Mit Hilfe dieses einfachen Prinzips



erfüllt der Computer jedoch komplexe Aufgaben.

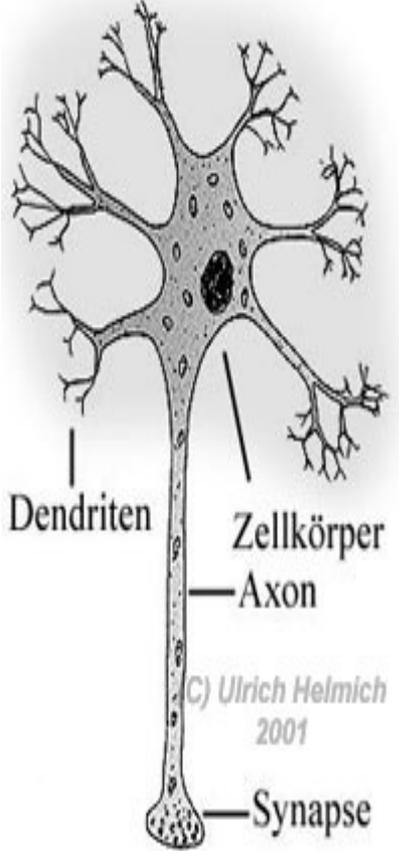
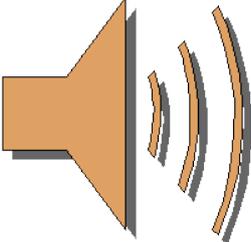
Die **Grundprinzipien** von konnektionistischen Modellen sind unserem (derzeitigen) Wissen über die Informationsverarbeitung im Gehirn abgeleitet.

### Analogie Gruppenarbeit

Studentische Gruppenarbeit	Neuronales „Teamwork“
Die grundlegende Operation in einer Gruppenarbeit beruht darauf, dass Informationen zwischen den Mitgliedern ausgetauscht werden.	Die grundlegende algorithmische Operation im Gehirn beruht darauf, dass Neuronen (Nervenzellen) Informationen untereinander weitergeben. Dabei gibt ein Neuron alle Signale, die es erhalten hat, weiter an andere Neuronen.
Ein ständiger und vor allem intensiver Informationsaustausch zwischen den Gruppenteilnehmern stärkt den (emotionalen) Zusammenhalt, schmiedet u.U. die Glieder jener „Leidensgemeinschaft“ zusammen.	Lernen verändert die Stärke der Verbindungen zwischen den Neuronen und damit auch den Einfluss eines Neurons auf ein anderes.
Alle Gruppenteilnehmer beteiligen sich aktiv an der intellektuellen Auseinandersetzung mit dem Thema. Texte werden mehrfach (parallel) von den Teilnehmern gelesen.	An kognitiven Prozessen sind viele Neuronen gleichzeitig aktiv beteiligt und algorithmische Operationen werden parallel von vielen Neuronen durchgeführt.
Obwohl sich jeder aus der Gruppe einem speziellen Aspekt gewidmet hat (und diesen auch im Plenum vorträgt), ist sich der einzelne durchaus des Gesamtthemas bewusst und beherrscht dieses, wenn auch nur in Grobzügen, weil er sich eben auf sein „Spezialgebiet“ konzentriert hat.	Information ist über viele Neuronen und Verbindungen zwischen ihnen verteilt.

## 2. Grundlegende Begriffe

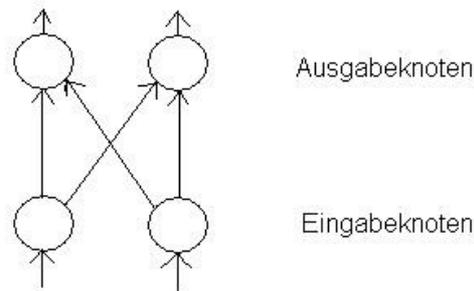
### Analogie

Aufbau einer Nervenzelle (Neuron)		Aufbau einer Verstärkeranlage
 <p>Dendriten</p> <p>Zellkörper</p> <p>Axon</p> <p>(C) Ulrich Helmich 2001</p> <p>Synapse</p>	<p><b>Eingabe</b> Dendriten und Mikrofon</p> <p><b>Verarbeitung</b> Axon(hügel) und Mischpult</p> <p><b>Ausgabe</b> Synapse und Lautsprecher</p>	  

→ EVA-Prinzip (Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe-Prinzip)

Ein neuronales Netz besteht aus Knoten (=informationsverarbeitende Einheit), die miteinander durch eine Verbindung in Kontakt stehen.

In diesem Sinne sind Knoten den Neuronen ähnlich. So wie Neuronen, so empfangen auch Knoten Informationen, oder sie geben Information an andere Knoten weiter, mit denen sie verbunden sind.



## Plenumsaktivität zur Verdeutlichung eines Netzwerkes

Jeder Seminarteilnehmer ist ein Knoten bzw. sein Körperrumpf ist der Knoten.

Wir fassen uns alle an den Händen, wobei die Hände die Verbindungen darstellen, die linke Hand jeweils der Eingabeknoten und die rechte Hand der Ausgabeknoten.

Der Seminarleiter fungiert als Initiator einer „Nachrichtenübermittlung“ (Information), die durch einen Händedruck (Druckimpuls) auf das erste Glied der „Seminarkette“ übergeht.

Jener Seminarteilnehmer/die Seminarteilnehmerin verarbeitet diesen Impuls (durch Erhöhung von 1; beträgt die Impulszahl 3, dann wird die Impulszahl wieder auf 1 gesetzt), nimmt ihn wahr und gibt ihn gleichfalls durch Händedruck an das zweite Glied weiter. Der Impuls pflanzt sich so durch die „Neuronenkette“ der Seminarteilnehmer fort.

Ein fester Händedruck („erregende Eingabe“) erhöht die Wahrscheinlichkeit der Aktivierung des nächsten Gliedes, ein schwacher Händedruck verringert die Wahrscheinlichkeit der Weitergabe.

## Analogie Händedrücken

Die Stärke des Händedrucks ergibt sich	aus dem Naturell/Grundcharakter (schüchtern, lebhaft) des Grüßenden	und der Muskelstärke der Hand.
Die Aktivierungsstärke eines Knotens ergibt sich	aus der Grundaktivierung durch (einen oder mehrere) Eingabeknoten	und der Verbindungsstärke zu ihm. Die Verbindungsstärke stellt innerhalb der Aktivierung den variablen, veränderbaren Teil dar (Verstärkungsfaktor, Multiplikator)

Welche Rolle spielt die Verbindungsstärke?

<p>→ Der Druckimpuls beim Händedrücken entsteht aus dem Grundnaturell des Drückenden (schüchtern = schwacher Händedruck; lebensfroh = starker Händedruck) malgenommen mit der Muskelstärke (quasi als Multiplikator).</p>
<p>→ Beim Knotenmodell wird die Grundaktivierung mit der Verbindungsstärke multipliziert. Hat z.B. hat die Grundaktivierung eines (Eingabe-)Knotens den Wert „2“ und die Verbindungsstärke <b>zu</b> einem (Ausgabe-)Knoten den Wert „1.5“, so wird der Ausgabeknoten vom Eingabeknoten mit einer Aktivierung von „3“ aktiviert.</p>

In einem konnektionistischen Netz gibt es **nicht nur ein Eingabeknoten**, sondern mehrere (bis unendliche) Eingabeknoten („Händeschüttler“).

Die Gesamteingabe besteht auch hier aus der Summe der Produkte von Aktivierung des sendenden Knotens und dessen Verbindungsstärke zum empfangenden Knoten.

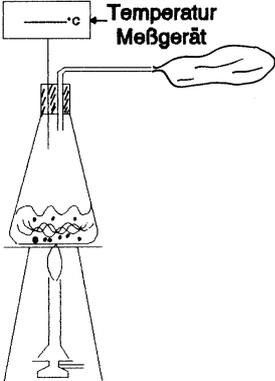
Gesamteingabe = Eingabeknoten\_1 \* Verbindungsstärke + Eingabeknoten\_2 \* Verbindungsstärke

Die Informationsweitergabe ist mit der Aufsummierung der Eingaben von anderen Knoten aber noch **nicht** beendet.

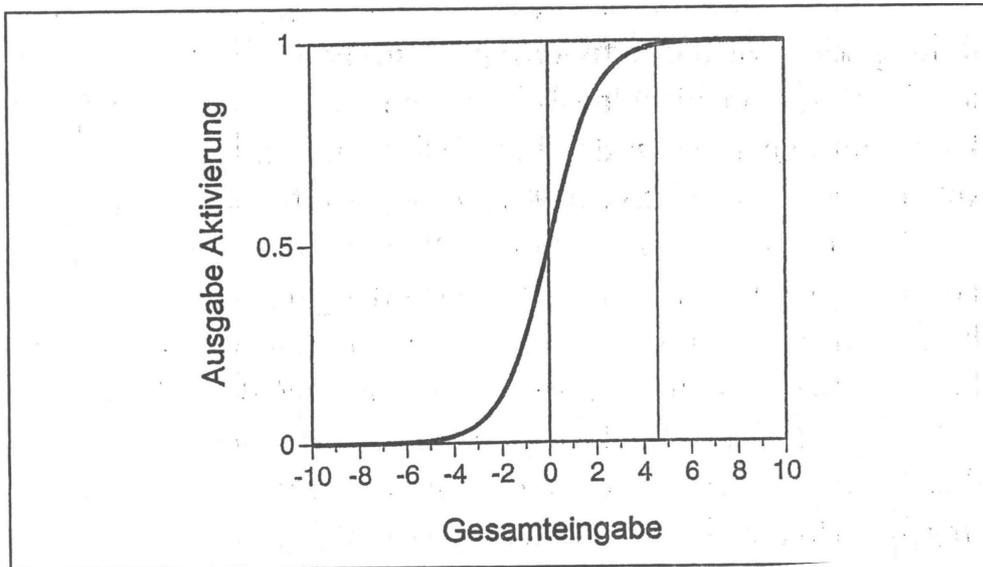
Es geht darum, was der empfangende Knoten **ausgibt** und das ist **nicht gleich** der erhaltenen Gesamteingabe von anderen Knoten.

Es kommt darauf an, **wie** der empfangene Knoten die Eingabe **verarbeitet**.

Ähnlich wie bei den Neuronen muss die Erregung eine bestimmten Schwelle überschreiten, damit das empfangene Neuron bzw. der Knoten aktiv werden kann („feuert“; gemäß nach dem Alles-Oder-Nichts-Gesetz).

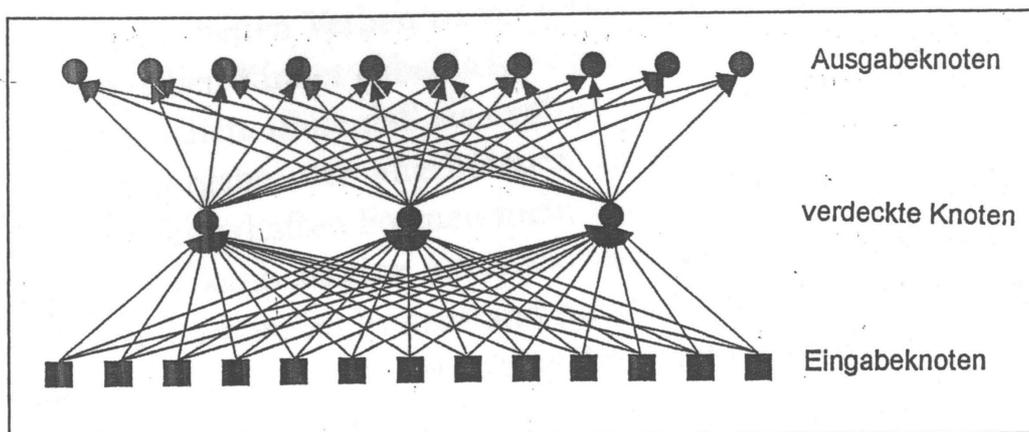
Analogie Wasserkochen	Analogie Gefrierpunkt
	
<p>Erst ab 100 Grad Celsius siedet das Wasser, d.h. eine Temperaturerhöhung von 96 Grad Celsius reichen nicht aus, das Wasser zum Kochen zu bringen.</p>	<p>Oder umgekehrt: Damit Wasser einen festen Aggregatzustand annimmt, reichen 4 Grad Celsius höchstens für die höchste Dichte, allerdings nicht, um das Wasser zum Gefrieren zu bringen.</p>

Dieser Schwellenwert wird von in konnektionistischen Systemen durch eine Aktivierungsfunktion ermittelt:



Die Abbildung zeigt, dass es eine Alles-Oder-Nichts-Antwort aus sehr positive und sehr negative Eingaben gibt (hier bei über Werten +4 und unter Werten von -4). Der Knoten ist dann völlig aktiviert oder gar nicht. Wenn keine Eingabe erfolgt, dann ist die Aktivierung 0.5, also in der Mitte Responsestärke.

Bei konnektionistischen Netzwerken gibt es allerdings noch eine weitere Schicht, die sogenannten verdeckten Knoten.



Verdeckte Knoten (Zwischeninstanzen) sind von der Konzeption einer inneren Repräsentation in psychologischen Theorien ähnlich.

Sie haben die Funktion, die **Information umzukodieren** auf eine Art, die ihre weitere Verarbeitung für die **Lösung** eines Problems **erleichtert**. Es sind demnach Vereinfachungen.

### **Analogie Overheadprojektor**

Die Eigenschaften „eckig“, „auf Rollen“, „Spiegelprojektion“, „elektrisch betrieben“ lassen sich vereinfachend in der Repräsentation „Overheadprojektor“ vereinen. Mit diesem Begriff lässt sich leichter und effektiver hantieren.

Konnektionistische Netze: reine Spielerei? Nein! Durchaus Modelle fürs Lernen

## **3. Lernen**

Interessant werden konnektionistische Netze, wenn sie etwas tun können, das Menschen können, nämlich lernen.

Lernen ist im psychologischen Sinne eine **dauerhafte** (Ver-)Änderung des Verhaltens, des Denkens und Fühlens.

*Beispiel: Fahrradfahren : Anfangszustand (Stürze mit Schürfwunden), Endzustand (Gleichgewicht halten, Pedalbetrieb, Lenken)*

Lernen im konnektionistischen Sinne meint, dass Knoten Ausgaben produzieren (**Aktivierungsmuster**), die sie zu Beginn, also in ihrem Anfangszustand, nicht produziert haben. Ihr Zustand hat sich damit verändert, was wiederum Lernen bedeutet, z.B. Pluralbildung von Lexikon; Anfangszustand: Lexikons; Endzustand: Lexika

Wie funktioniert Lernen nun in konnektionistischen Netzen?

**Hebb** (1949) ging von der Informations- und Erregungsweitergabe zwischen Neuronen aus:

Wenn zwei Zellen A und B nah genug beieinander sind und Zelle A wiederholt und dauerhaft daran beteiligt ist, Nervenzelle B zu erregen, dann findet ein Wachstums- oder metabolischer Veränderungsprozess in den Zellen statt, der dazu führt, dass die Effektivität, mit der Nervenzelle A die Nervenzelle B erregt, gesteigert wird.

Dies wurde zu einem fundamentalen Prinzip des Konnektionismus: die Veränderung der Verbindungsstärke zwischen Neuronen – oder Knoten im neuronalen Netz – als Prinzip des Lernens und der Veränderung.

### **Analogie Fußweg**

Man stelle sich schematisch große Wiese als Viereck vor mit den Eckpunkten A,B,C und D.

Punkt A sei der Bahnhof, Punkt C sei das Schwimmbad.

Anreisende (von Punkt A), die zum Schwimmbad (Punkt C) wollen, haben natürlich die Möglichkeit über Punkt C das Ziel zu erreichen.

Vermutlich schlagen sie aber – aus ökonomischen Gründen – den diagonalen Weg  $|AC|$  ein.

Durch die hohe Begehfrequenz wird das Gras niedergetreten, sodass die braune, allmählich festgetretene Erde zu Tage tritt. Es bildet sich ein Trampelpfad, der neben der Wegverkürzung auch den Vorteil einer sicheren Begehbarkeit mit sich bringt (man rutscht nach einem Regenguss nicht mehr auf dem nunmehr nicht mehr vorhandenem Gras aus). Ein schöner Trampelpfad, der sich bewährt, sogar in solchem Maße, dass die Stadtverwaltung erwägt, ihn zu asphaltieren.

Gedacht, getan.

Durch die noch mehr gestiegene Sicherheit beim Begehen wagen sich auch Senioren auf diesen Weg, Mütter mit ihren Kinderwägen, Kinder mit ihren Inline Skates, allerlei Fußvolk, eine noch höhere Frequenz durch den gestiegenen Grad an Bequemlichkeit, Wegbreite und Ökonomie.

Die einstige Wiese hat sich zum Asphaltweg etabliert, sehr zur Freude der Anwohner und Anreisenden.

Deshalb entschließt sich die Stadtverwaltung erneut zu Veränderungen, der Weg wird nochmals verbreitert und der von der Verwitterung bedrohte schwarzlangweilige Asphalt durch verschiedenfarbige Steinpflaster ersetzt, noch breiter angelegt als der Asphaltweg es war.

Sollte sich auch dieser Steinpflasterweg künftig bewähren, könnte er zur Fußgängerzone werden.

Und alles nur, weil sich  $|AC|$  gegenüber  $|ABC|$  behaupten konnte.

Der Grad der Nutzung der Wiese als Gehweg brachte auch eine Steigerung der Effektivität (hinsichtlich der Sicherheit in der Begehung durch Wegbreite und immer fester werdendem Baumaterial) mit sich.

### **Konnektionistische Netze : Lernen am Endzustand**

Eine Möglichkeit des Lernens in konnektionistischen Netzen ist, dass von einem ein gegebenem Anfangszustand ein vorgegebener Endzustand erreicht werden soll.

Beispielsweise soll die Vergangenheitsform eines Verbs erlernt werden, z.B. von „trinken“.

Der Endzustand (und damit die Zielvorgabe) ist hier „trank“.

Das Kind hat im Spontanspracherwerb keine direkte Instruktion. Mag sein, dass ein Kind bei der Bildung der Vergangenheitsform Fehler macht („trinke“, „trunk“, „tränkte“), aber in der Zielvorgabe, nämlich der Erwachsenensprache, kommt nur die korrekte Form („trank“) vor.

Dies dient als Rückmeldung über korrekte und fehlerhafte Formen.

In einem konnektionistischen Netz wird diese Art der Rückmeldung über korrekte und inkorrekte Formen ebenfalls benutzt.

Das Netz hat einen Anfangszustand und einen Endzustand, und die Aufgabe ist es zum Endzustand zu gelangen.

Das wird dem Netz als Ziel vorgegeben.

Es muss nun im Lernvorgang die Verbindungsstärken im Netz so verändern, dass Fehler reduziert werden, bis sie schließlich unerheblich sind, dass man davon sprechen kann, dass das Ziel erreicht ist.

Viele Netze benutzen dazu einen Algorithmus, der als „backpropagation of error“ („Rückverbreitung des Fehlers“) bekannt ist (nach Rumelhart et al.).

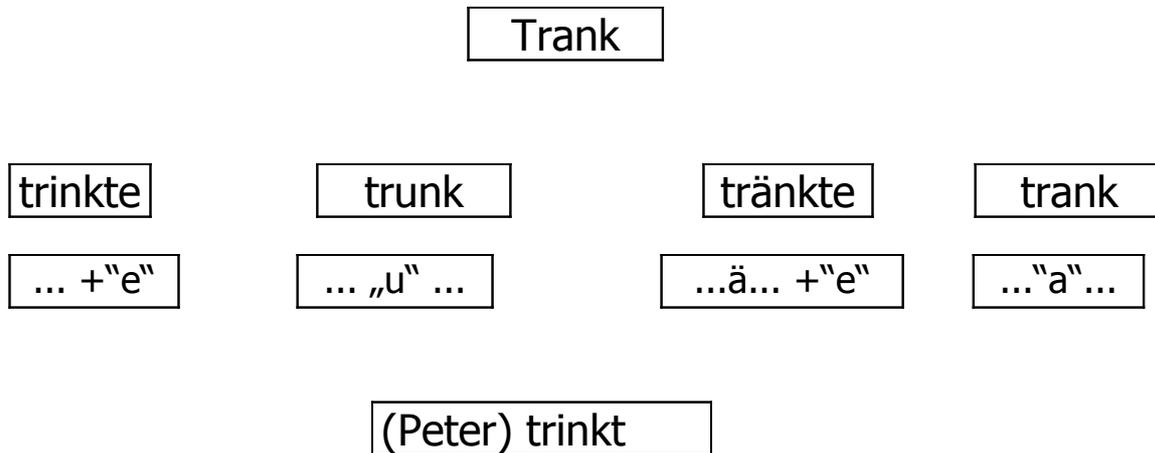
Der Backpropagation-Algorithmus läuft in folgenden Phasen:

- Ein Eingabemuster wird angelegt und vorwärts durch das Netz propagiert.
- Die Ausgabe des Netzes wird mit der gewünschten Ausgabe verglichen. Die Differenz der beiden Werte wird als Fehler des Netzes erachtet.
- Der Fehler wird nun wieder über die Ausgabe- zur Eingabeschicht zurück propagiert, dabei werden die Gewichtungen der Neuronenverbindungen abhängig von ihrem Einfluss auf den Fehler geändert. Dies garantiert bei einem erneuten Anlegen der Eingabe eine Annäherung an die gewünschte Ausgabe.

Der Name des Algorithmus ergibt sich aus dem Zurückpropagieren des Fehlers (error back-propagation=Zurückverbreitung).

## Bildung der Vergangenheitsform von „trinken“

Die Zielstruktur „trank“ wird in der Verwendung innerhalb der Erwachsenensprache vorgegeben.



Kinder abstrahieren Regelhaftigkeiten (... +“e“ , ... „u“ ... , ...ä... +“e“ , ...“a“...). Diese Regelhaftigkeiten können als verdeckte Knoten angesehen werden, die der Effizienz einer Problemlösung (hier: Bildung der Vergangenheit) dienen. Diese Knoten liefern als Ausgabemuster unterschiedliche Vergangenheitsformen, korrekte und inkorrekte.

Der Vergleich mit der Zielstruktur „trank“ ergibt bei einer inkorrekten Form eine Differenz, d.h. einen Fehler.

Der Fehler wird nun wieder über die Ausgabe- zur Eingabeschicht zurück propagiert, dabei werden die Gewichtungen der Neuronenverbindungen abhängig von ihrem Einfluss auf den Fehler geändert (in der Analogie Fußweg würde bei einem Fehler ein Asphaltweg auf einen Trampelpfad zurückgestuft werden; bei Korrektheit würde ein Asphaltweg zu einem Pflasterweg ausgebaut werden. Bei einem weiteren Lerndurchlauf würde der Trampelpfad wieder zur Wiese und der Pflasterweg zur Fußgängerzone. Die Wiese zeigt eine so schwache Verbindungsstärke, dass sie das Schwellenpotential nicht erreicht und dieser Knotenpunkt bei der Vergangenheitsbildung außer Acht gelassen wird.).

## 4. Bedeutung der konnektionistischer Modellierung für den Spracherwerb

Gemeinsamkeit mit dem Spracherwerb:

Ein neuronales Netz benötigt für die Zielausgabe (sprachliche Regelmäßigkeiten) viele Lerndurchgänge.

Im Spracherwerb erhält ein kleines Kind, das die Muttersprache erwirbt, ein sehr reichhaltiges Sprachangebot, um Regelmäßigkeiten zu abstrahieren.

Bekannt sind Simulationen englischer Vergangenheitsformen.

Die Mehrheit bildet jene mit der Endung –ed am Verbstamm.

Die Minderheit ist unregelmäßig: Vokaländerung (drink/drank), identische Formen (hit/hit) oder Formen ohne Beziehung zur Präsensform (go/went).

Mit dem Erwerb von **neuen Verben** treten oft Übergeneralisierungen auf, d.h. aus unregelmäßigen Verben werden regelmäßige (statt „drank“ die Form „drinked“).

Seltener kommt es vor, dass aus regelmäßigen unregelmäßige Verbformen gemacht werden.

Erklärung: unterschiedliche Prozesse für die Verbformen

→ Regelmäßige Verbformen werden nach einer Regel gebildet

→ unregelmäßige Verbformen als einzelne Formen im Gedächtnis gespeichert

Es greifen 2 Mechanismen.

Ein Mechanismus kontrolliert die Anwendung einer Regel (bei regelmäßigen), der andere Mechanismus identifiziert Ausnahmen zur Regel (unregelmäßig), die auswendig gelernt werden. Bei letzteren findet keine Regelanwendung statt.

---

Plunkett & Marchman (1993) : Simulation des Erwerbs englischer Vergangenheitsformen mit einem konnektionistischen Netz.

Netzeingabe: 500 Verben in ihrer Stammform

Verbklasse	Anzahl
Regelmäßige Verben	410
Verben ohne Veränderung (hit/hit)	20
Verben mit Vokaländerung (drink/drank)	68
Unsystematische Verben mit fehlender Beziehung zwischen Stamm und Vergangenheit (go/went)	2

Dies entspricht in etwa der Verbverteilung im Englischen.

Nicht alle Verben auf einmal wurden dem Netz dargeboten, sondern das Vokabular graduell erhöht (entspricht der Situation Sprache erwerbender Kinder, die zunächst nur ein geringes Verbvokabular haben und dieses allmählich erweitern).

Im Training wurde die Häufigkeit des Vorkommens der Verben variiert. So wurden unregelmäßige Verben häufiger angeboten, insbesondere die Verben mit unsystematischer Beziehung (z.B. go/went). Das entspricht der Häufigkeit des Gebrauchs in der englischen Sprache.

Ebenso wurde nach Trainingsphasen mit einer gewissen Vokabulargröße neue Verben getestet, um zu überprüfen, ob das Netz Regelmäßigkeiten erworben hat, die es auf neue Verben überträgt.

## Ergebnisse

Ein neuronales Netz kann unter diesen naturgemäßen Bedingungen Vergangenheitsformen lernen!

Der Erwerbsvorgang ist abhängig

- von der Größe des Vokabulars
- von der Häufigkeit des Vorkommens einzelner Verben
- von Ähnlichkeiten der Lautstruktur der Verben

Bemerkenswert:

Bei kleinem Vokabular zeigte das Netz keine Anwendung von Regelmäßigkeiten, erst aber einer Größe von 50 Verben mit einer Tendenz zur Verallgemeinerung (Regelerzeugung), weg von der Strategie des Memorierens einzelner Verbformen hin zur Strategie der Regelbildung.

Diese Veränderung im Netz ist ein Resultat der Selbstorganisation des Netzes („Epigenese“).

## **Parallelen zwischen Lernen im Netz und dem Lernen durch Kinder**

- Netz machte auch Übergeneralisierungsfehler
- anfängliche Phase ohne Fehler, Fehler erst mit dem Einsetzen der Generalisierung
- Fehler wurden geringer mit Anwachsen des Vokabulars