

Universität Innsbruck

Institut für Psychologie

720584 Forschungsseminar: Neuere psychologische Fachliteratur

Dozent: Univ. Prof. Dr. Leidlmair Karl

SS 2010



# Physikalische Symbolsysteme

**vorgelegt von**

**Leiter Ulrich, 0715440**

**Oberarzbacher Marion, 0715599**

**Zingerle Christina, 0730370**

eingereicht am 29. April 2010

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.) EINLEITUNG.....</b>	<b>3</b>
<b>2.) SYMBOLVERARBEITUNGSANSATZ VS. KONNEKTIONISMUS.....</b>	<b>3</b>
2.1) SYMBOLVERARBEITUNGSANSATZ .....	3
2.2) KONNEKTIONISMUS .....	5
2.3) GEGENÜBERSTELLUNG .....	7
<b>3.) KURZBIOGRAPHIEN .....</b>	<b>8</b>
3.1) NEWELL .....	8
3.2) SIMON.....	9
<b>4.) GESCHICHTE DER PHYSICAL SYMBOL SYSTEM HYPOTHESIS.....</b>	<b>10</b>
<b>5.) ERLÄUTERUNG DER PHYSICAL SYMBOL SYSTEM HYPOTHESIS.....</b>	<b>11</b>
5.1) BEGRIFFSERKLÄRUNGEN: SYMBOL, SYMBOLSTRUKTUR, AUSDRUCK, OPERATIONEN, DESIGNATION, INTERPRETATION .....	11
5.2) DIE FÜNF AXIOME .....	13
5.3) DIE „NOTWENDIGE“ UND „HINREICHENDE“ SEITE DER HYPOTHESE .....	13
5.4) FAZIT .....	14
<b>5.) PROBLEMLÖSEN .....</b>	<b>15</b>
5.1) UNINFORMIERTE SUCHE .....	17
5.1.1) TIEFENSUCHE .....	17
5.1.2) BREITENSUCHE .....	18
5.2) INFORMIERTE SUCHE: HEURISTIKEN .....	19
<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>21</b>

# 1.) Einleitung

Im Rahmen des Forschungsseminars bei Professor Karl Leidlmair lautete das zentrale Thema „Cognitive Science“ Eine Reihe von Artikeln standen zur Auswahl. Ohne Hintergrundwissen war es schwer, ein Thema zu wählen. Letztendlich haben wir uns für den Artikel „Computer Science as Empirical Inquiry: Symbol and Search“ von Allen Newell und Herbert A. Simon entschieden. Dieser war Ausgangspunkt der weiteren Literaturrecherche und Themenaufbereitung.

Im Folgenden werden wir zuerst allgemein den Symbolverarbeitungsansatz vorstellen und ihm dem Konnektionismus, eine weitere Richtung in der künstlichen Intelligenzforschung (KI) gegenüberstellen. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der physikalischen Symbolsystemhypothese (PSSH). Anschließend gehen wir auf das Problemlösen solcher Systeme ein.

## 2.) Symbolverarbeitungsansatz Vs. Konnektionismus

Der Symbolverarbeitungsansatz und der Konnektionismus stellen zwei verschiedene methodische Zugänge in der künstlichen Intelligenzforschung (KI) dar. Die Kritik am Symbolverarbeitungsansatz führte innerhalb der Kognitionswissenschaften zur Suche nach neuen (Rechen-)Wegen und führt so zum Konnektionismus<sup>1</sup>. Während der Konnektionismus einem Bottom-up Ansatz<sup>2</sup> folgt, folgt die Symbolverarbeitung einem Top-down<sup>3</sup> Ansatz<sup>4</sup>. Beide Ansätze sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

### 2.1) Symbolverarbeitungsansatz

Ausgangspunkt des Symbolverarbeitungsansatzes sind elementare Symbole, d.h. „eindeutig identifizierbare und lokalisierbare Einheiten“<sup>5</sup>. Im Vergleich zum Menschen

---

<sup>1</sup> Lenzen, 2002

<sup>2</sup> Bottom-Up: von speziellen Lösungen auf allgemeine Ansätzen ([http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down\\_und\\_Bottom-up](http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down_und_Bottom-up))

<sup>3</sup> Top-Down: von allgemeinen Ansätzen auf spezielle Lösungen([http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down\\_und\\_Bottom-up](http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down_und_Bottom-up))

<sup>4</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche\\_Intelligenz](http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz), 05.04.2010

<sup>5</sup> Karagiannis & Telesko, 2001, S. 37

wäre der Computer das Gehirn, die dazugehörige Software, Betriebssystem und das Programm der Geist. Die Dinge der realen Welt werden im Computer als Symbole transformiert. Diese Symbole sind die Daten, welche nach festgelegten Regeln gespeichert, verglichen, verknüpft, sortiert oder durchsucht, kurz gesagt verarbeitet werden<sup>6</sup>.

Die Symbole müssen physisch d.h. materiell realisiert sein. Ein Beispiel für ein materiell realisiertes Symbol wäre ein Verkehrszeichen oder eine Ansammlung von geometrischen Zeichen. Im Computer geschieht die materielle Realisierung der Symbole durch ein elektronisch erzeugtes Bitmuster. Dies wäre bereits die technische Realisierung eines Physikalischen Symbolsystems. Ein Symbol kann in kleinere Einheiten zerlegt werden.<sup>7</sup> Beispiel: Nehmen wir als Beispiel für ein komplexes Symbol einen Hund. Das komplexe Symbol „Hund“ kann in elementare Symbole zerlegt werden, etwa „Tier“, „bellend“ usw. Sogar persönliches Wissen wie z.B. „mich hat früher ein Hund gebissen“ kann symbolisch repräsentiert werden. So verlaufen ganze Schlussketten wie „da bellt was“ → „ein Hund“ → „könnte mich beißen“ in Symbolen<sup>8</sup>.

Die elementaren Symbole können nun gemäß syntaktischer Regel zu Symbolstrukturen zusammengesetzt sein. Für den Symbolverarbeitungsansatz sind kognitive Prozesse<sup>9</sup> die Transformation der Symbolstrukturen<sup>10</sup>.

In symbolischen Systemen ist das Wissen explizit repräsentiert<sup>11</sup>. Die Bedeutung der verwendeten Symbole muss von den Modellentwicklern festgelegt werden, da die Verarbeitung auf dem Computer auf syntaktischen Merkmalen basiert<sup>12</sup>.

Zusammenfassend geht der Symbolverarbeitungsansatz also von folgenden Annahmen aus:

- (1) Kognition ist Informationsverarbeitung.
- (2) Informationsverarbeitung beruht auf Manipulation von Symbolen.
- (3) Symbole werden durch Regeln manipuliert, die sich nur auf die syntaktische Form der Symbole und nicht auf die Semantik beziehen.

---

<sup>6</sup> Lenzen, 2002

<sup>7</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

<sup>8</sup> [http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0910/Kurztext\\_Teil1neu.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0910/Kurztext_Teil1neu.pdf), 05.04.2010

<sup>9</sup> Die Gesamtheit der psychischen Prozesse, die bei der Bildung von Begriffen, beim Lernen von Regeln, beim Denken und Problemlösen ablaufen ([http://www.medpsych.uni-freiburg.de/OL/glossar/body\\_kognitive\\_prozesse.html](http://www.medpsych.uni-freiburg.de/OL/glossar/body_kognitive_prozesse.html)).

<sup>10</sup> [http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0910/Kurztext\\_Teil1neu.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0910/Kurztext_Teil1neu.pdf), 05.04.2010

<sup>11</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles\\_Lernen](http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles_Lernen), 05.04.2010

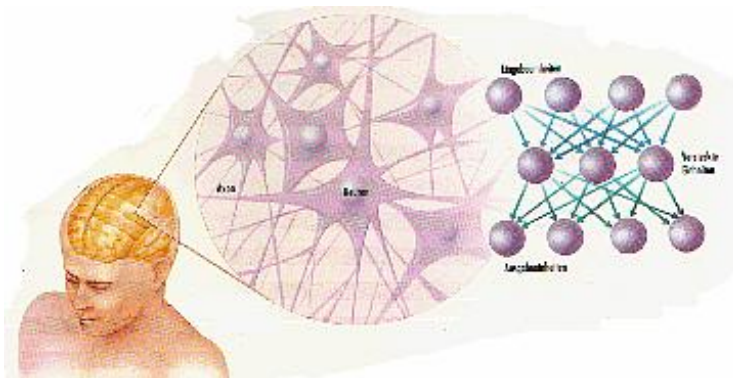
<sup>12</sup> Kolar, 2009

- (4) Ein kognitives System funktioniert, wenn es zu einer adäquaten Repräsentation der realen Welt und zu einer erfolgreichen Lösung gestellter Probleme führt<sup>13</sup>.

## 2.2) Konnektionismus

Die Bezeichnung „Konnektionismus“ leitet sich vom Lateinischen „connecter“ ab und bedeutet „verknüpfen“. Vorbild des Konnektionismus ist das menschliche Gehirn als neuronales Netzwerk.

Der Konnektionismus geht von einer großen Menge einfacher Einheiten (sog. formale Neuronen) aus, welche in einem parallel distribuierten Netz miteinander verbunden sind. Die Neuronen arbeiten lokal und kommunizieren mit anderen via Signale über Verbindungen<sup>14</sup>. Die künstlichen Neuronen besitzen eine beliebige Menge an Eingängen und einen Ausgang. Außerdem besitzen sie einen Schwellenwert, den die Summe der Eingangaktivierungen überschreiten muss, um sie zu aktivieren<sup>15</sup>. Des Weiteren können sich die Zustände zwischen den Neuronen mit der Zeit verändern. Lernt das System beispielsweise etwas dazu, können neue Verbindungen zwischen ihnen entstehen<sup>16</sup>. Also bilden die formalen Neuronen die Basis für die künstlichen neuronalen Netze<sup>17</sup>.



18

**Abb. 1: Vorbild des Konnektionismus: das menschliche Gehirn**

Zwischen konnektionistischen Systemen und seinem Vorbild herrscht immer Verhaltensisomorphie. Das bedeutet, dass das System unter gleichen Bedingungen das gleiche Verhalten zeigt wie sein Vorbild. Man muss sich vor Augen halten, dass das

<sup>13</sup> Weber, 1999

<sup>14</sup> Kolar, 2009

<sup>15</sup> Lenzen, 2002

<sup>16</sup> <http://www.logic.at/lvas/185170/13-Major.pdf>, 05.04.2010

<sup>17</sup> Lenzen, 2002

<sup>18</sup> <http://www.weiprecht.de/Icons/nnmod2.png>, 05.04.2010

Verhalten erst durch ein Zusammenwirken aller Einheiten bzw. Neuronen entsteht. Somit haben die einzelnen Einheiten eines Systems keine semantische Bedeutung<sup>19</sup>. Semantisch interpretierbares Wissen findet man nur in den Mustern des Netzes, d.h. das Wissen ist über das System hinweg verteilt<sup>20</sup>. Mit anderen Worten: bei neuronalen Netzen ist das Wissen implizit repräsentiert, d.h. es gibt keinen Einblick in die erlernten Lösungswege<sup>21</sup>.

## Vorteile

- (1) Konnektionistische Systeme benötigen keinen menschlichen Interpreten<sup>22</sup>.
- (2) Konnektionistische Systeme sind anpassungsfähig. Der Grund dafür liegt darin, dass sie nicht nach vorgegebenen Regeln arbeiten<sup>23</sup>.
- (3) Konnektionistische Systeme können lernen<sup>24</sup>. Die Lernfähigkeit entsteht durch Änderung der Gewichtung der Verbindungen zwischen den einzelnen Einheiten<sup>25</sup>. Einschränkung muss erwähnt werden, dass lange Vorbereitungszeiten notwendig sind, bis das System einsatzbereit ist.
- (4) Konnektionistische Systeme arbeiten auch bei unvollständigen Daten gut<sup>26</sup>. Das System bricht bei unvollständigen oder fehlerhaften Input nicht einfach ab, sondern erzeugt dennoch einen Output, welcher in einer sinnvollen Beziehung zum Input steht. Der Grund für diese Fehlertoleranz liegt einerseits in den Netzwerkeigenschaften, konkret in der verteilten Repräsentation und ist nicht explizit eingebaut<sup>27</sup>. Andererseits bilden die künstlichen neuronalen Netze auch automatisch Prototypen von Eingabemuster, wodurch auch bei unvollständigen Eingaben ein Output erzeugt wird.
- (5) Konnektionistische Systeme sind robust beim Ausfall von Teilen des Systems. Der Grund dafür liegt in ihrer Redundanz<sup>28</sup>.

---

<sup>19</sup> <http://www.logic.at/lvas/185170/13-Major.pdf>, 05.04.2010

<sup>20</sup> Kolar, 2009

<sup>21</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles\\_Lernen](http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles_Lernen), 05.04.2010

<sup>22</sup> <http://www.freitag.de/2002/08/02081601.php>, 05.04.2010

<sup>23</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Konnektionismus>, 05.04.2010

<sup>24</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Konnektionismus>, 05.04.2010

<sup>25</sup> <http://www.freitag.de/2002/08/02081601.php>, 05.04.2010

<sup>26</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Konnektionismus>, 05.04.2010

<sup>27</sup> <http://www.logic.at/lvas/185170/13-Major.pdf>, 05.04.2010

<sup>28</sup> **Redundanz** (latein. *redundare* „im Überfluss vorhanden sein“) bezeichnet grundsätzlich einen Zustand von Überschneidung oder Überfluss. Hier steht Redundanz für das Vorhandensein funktional gleicher oder vergleichbarer Ressourcen eines technischen Systems, wenn diese bei einem störungsfreien Betrieb im Normalfall nicht benötigt werden.

## Nachteile

- (1) Ein großer Nachteil konnektionistischer Systeme liegt darin, dass das „Wissen“ eines neuronalen Netzes nicht kommunizierbar ist. Wir können nicht nachvollziehen, wie das Wissen des Netzes zustande gekommen ist<sup>29</sup>.
- (2) Für konnektionistische Systeme ist es schwierig höhere Ebenen der Kognition darzustellen<sup>30</sup>.
- (3) Des Weiteren ist es für konnektionistische Systeme schwierig zeitlich gestrecktes Verhalten zu modellieren. Symbolische Systeme können dies bewältigen, da sie einen Arbeitsspeicher besitzen<sup>31</sup>.

Mit Beginn der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts rückten die neuronalen Netze wieder in den Vordergrund. Der Erfolg bei Aufgaben wie der Mustererkennung oder der Bewegung verschaffte dem Konzept einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem Symbolverarbeitungsansatz. Dieser blieb bei diesen Aufgaben erfolglos.

Im Gegensatz zum Symbolverarbeitungsansatz erkennt das Konzept der neuronalen Netze die Unterscheidung zwischen Hard- und Software nicht mehr an.

## 2.3) Gegenüberstellung des Symbolischen und Konnektionistischen Modell

In der Folgenden Tabelle sind einige wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Ansätzen aufgelistet:

Symbolisches Modell	Konnektionistisches Modell
<ul style="list-style-type: none"><li>• Denken als regelgeleitete Verarbeitung von Symbolen</li><li>• Intelligenz soll modelliert und automatisiert werden</li><li>• Explizites Repräsentation und</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Denken als reizbedingtes Zusammenwirken eines Neuronennetzes</li><li>• Intelligenz soll durch Erfahrung erworben werden</li><li>• sich zeigende Repräsentation und implizites</li></ul>

<sup>29</sup> <http://www.freitag.de/2002/08/02081601.php>, 05.04.2010

<sup>30</sup> <http://www.fs-psychologie.uni-bonn.de/download/aushaupt/R1-ki.pdf>, 05.04.2010

<sup>31</sup> <http://www.fs-psychologie.uni-bonn.de/download/aushaupt/R1-ki.pdf>, 05.04.2010

<p>explizites Wissen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logisches Schließen wird operational (re-) konstruiert</li> <li>• programmiert</li> <li>• zentrale Kontrolle</li> <li>• abstrakt</li> <li>• algorithmische Regeln</li> <li>• sequentielle Verarbeitung</li> <li>• regelbasierte Bedeutung</li> <li>• „high-mind“</li> <li>• <u>Stärken:</u> Ziehen von Schlüssen, strategische Spiele, Planen, Konfiguration, Logik ...</li> </ul>	<p>Wissen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernvorgang wird operational (re-) konstruiert</li> <li>• trainiert</li> <li>• keine zentrale Kontrolle</li> <li>• gehirntartig</li> <li>• Knoten und Aktivationen</li> <li>• parallele Verarbeitung</li> <li>• netzwerkbasierende Bedeutung</li> <li>• „low-mind“</li> <li>• <u>Stärken:</u> Erkennung in Bildern, Musterverarbeitung, Verarbeitung verrauschter Daten ...<sup>32</sup></li> </ul>
--	--

### 3.) Kurzbiographien von Allen Newell und Herbert Simon

#### 3.1) Allen Newell (\* 19.03.1927; † 19.07.1992)

Allen Newell gilt als einer der Pioniere der künstlichen Intelligenz und Kognitionswissenschaften. Er war längere Zeit als Kognitionspsychologe und Informatiker tätig. Newell absolvierte das Studium der Mathematik und der Physik und lehrte später selbst als Professor an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh.

Der US-Amerikaner interessierte sich vor allem für maschinelles Problemlösen. In der Zusammenarbeit mit Herbert Simon entwickelte Newell erfolgreich mehrere Programme

<sup>32</sup> <http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/attachments/LVTermine/IMG1-VL12.pdf> und <http://www.ki.informatik.uni-frankfurt.de/lehre/SS2006/KI/skript/KI-1.pdf>, 06.04.2010



der künstlichen Intelligenz. Er wurde 1975 zusammen mit Simon mit dem Turing-Preis ausgezeichnet. Newell starb 1992 an Krebs.<sup>33</sup>

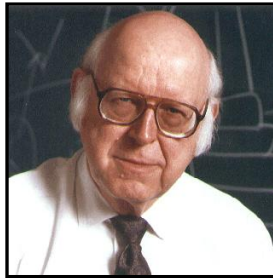


Abb. 2: Allen Newell<sup>34</sup>

### 3.2) Herbert Alexander Simon (\* 15.06.1916; † 09.2.2001)

Herbert A. Simon gilt als einer der einflussreichsten Sozialwissenschaftler des vergangenen Jahrhunderts. Er war mit Dorothea Pye verheiratet und hatte drei Kinder. Er studierte Sozialwissenschaften und Wirtschaftswissenschaften und arbeitete später als Leiter einer Forschungsgruppe an der Universität Berkeley. Simon interessierte sich vor allem für Entscheidungsfindungsprozesse in Organisationen. Er hatte Kontakt mit dem Ökonom Milton Friedmann und anderen einflussreichen Ökonomen zu seiner Zeit. In der Zusammenarbeit mit Allen Newell verzeichnete er große Erfolge in der Künstlichen-Intelligenz-Forschung. Seine Auszeichnung 1978 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften gilt als der Höhepunkt seiner Karriere. 2001 starb Simon in Pittsburgh<sup>35</sup>.

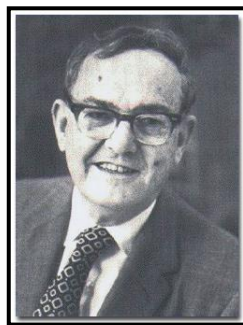


Abb. 3: Herbert A. Simon<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Allen\\_Newell](http://de.wikipedia.org/wiki/Allen_Newell), 06.04.2010

<sup>34</sup> <http://diva.library.cmu.edu/Newell/newell1.gif>, 06.04.2010

<sup>35</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Herbert\\_Simon](http://de.wikipedia.org/wiki/Herbert_Simon), 05.04.2010

<sup>36</sup> <http://datapeak.net/images/Simon6.jpg>, 06.04.2010

## 4.) Geschichte der „Physical Symbol System Hypothesis“ von Newell und Simon

Allen Newell (1927 - 1992) und Herbert A. Simon gelten als die Begründer der Physical Symbol System Hypothesis.

In den fünfziger Jahren begannen Newell und Simon ihre Zusammenarbeit. 1955 erstellten sie das heute noch bekannte Computerprogramm "Logic Theorist". Es gilt als das erste Programm der künstlichen Intelligenz. Mit Hilfe des "Logic Theorist" ist es möglich 38 der ersten 52 Sätze aus Kapitel 2 der Principia Mathematica zu beweisen. Dieses Programm wurde mit der Programmiersprache IPL geschrieben, dem Vorläufer des LISP.

Zwei Jahre später, 1957, entwickelten die beiden oben genannten Autoren den "General Problem Solver", welches ebenfalls mit IPL programmiert wurde. Mit diesem Programm konnte man nun allgemeine Aufgaben (Schach, geometrische Aufgaben, Mathematische Sätze usw.) lösen<sup>37</sup>. Es ist an der Anlehnung an heuristischem Problemlösen des Menschen entstanden. Das Ziel des „General Problem Solver“ wurde nicht erreicht, da dieses Programm zu ungenau arbeitet. Trotzdem wird der GPS als Meilenstein in der künstlichen Intelligenz gesehen<sup>38</sup>.

Später wurde dann das Programm SOAR entwickelt. Hier werden Erkenntnisse aus der modernen Kognitionspsychologie in das Programm hineinbezogen. Mit dem dauernden Anstieg kognitionspsychologischen Wissens lassen sich Verhaltenweisen immer besser prognostizieren.

Jene vorgestellten Programme („Logic Theorist“, „General Problem Solver“, „SOAR“) und Erkenntnisse aus der Mathematik und der formalen Logik beeinflussten vor allem die Entwicklung der Physical Symbol System Hypothesis von Allen Newell und Herbert A. Simon. Wie der Name schon sagt, besteht das System aus einer Vielzahl von Symbolen, welche auf einer gewissen Weise strukturiert werden. Sie formulierten fünf Verarbeitungsaxiome, welche für ihr verfasstes System gelten. Die beiden Begriffe Designation und Interpretation werden von den erwähnten Autoren eingeführt und sind von zentraler Bedeutung<sup>39</sup>.

Die beiden Wissenschaftler meinten im Jahre 1976, dass ihr entwickeltes Physical Symbol System die notwendigen und genügenden Mittel für generelles intelligentes

---

<sup>37</sup> <http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>, 06.04.2010

<sup>38</sup> [http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0405/s\\_planning/slides/GPSGOMS.pdf](http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0405/s_planning/slides/GPSGOMS.pdf), 06.04.2010

<sup>39</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Allen\\_Newell](http://de.wikipedia.org/wiki/Allen_Newell), 06.04.10

Handeln beinhalten. Jenes System ist seit jeher als implementiertes Symbolverarbeitungssystem bekannt<sup>40</sup>.

Dreißig Jahre später, 2006, brachte Nilsson einige Kritikpunkte gegen die PSSH vor.<sup>41</sup>

## 5.) Erläuterung der Physical Symbol System Hypothesis

In der künstlichen Intelligenzforschung wurde versucht Hypothesen über die interne Beschaffenheit intelligenter Systeme aufzustellen. Als bekannteste Hypothese gilt 1976 formulierte „Physical Symbol System Hypothesis“ von A. Newell und H. Simon<sup>42</sup>.

Die Hypothese lautet: „A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action“<sup>43</sup>.

Die Autoren gehen davon aus, dass die mentalen Repräsentationen der Wahrnehmung als Symbole dargestellt werden und allgemein intelligentes Handeln darum auf Symbolverarbeitung beruht. Somit ist das Symbol eine zentrale Grundlage dieses Ansatzes (siehe Kap. 2.1.) Symbolverarbeitungsansatz).

### 5.1) Begriffserklärungen: Symbole, Symbolstrukturen, Prozesse, Designation, Interpretation

Bevor auf die Hypothese näher eingegangen wird, ist es notwendig einige grundlegende Begriffe zu klären:

#### **Symbole**

Symbole sind fundamental für die Computerwissenschaft. Sie stellen die Wurzel intelligenter Handlungen dar. Symbole sind Zeichen, denen eine Bedeutung zugeordnet

---

<sup>40</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 06.04.2010

<sup>41</sup> <http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>, 06.04.2010

<sup>42</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

<sup>43</sup> Deutsche Übersetzung: „Ein Physikalisches Symbolsystem hat die notwendige und hinreichende Mittel für allgemein intelligente Handlungen.“

werden kann. Ein Beispiel für ein Symbol könnte sein: „©“. Symbole können gelesen, erkannt und geschrieben werden<sup>44</sup>. Symbole bilden die Grundlage physikalischer Symbolsysteme. In der Informatik werden Symbole als elektronisch erzeugtes Bitmuster dargestellt<sup>45</sup>.

### **Symbolstrukturen (Ausdrücke)**

Eine Symbolstruktur setzt sich aus einer Anzahl von Symbolen zusammen. Diese stehen in physikalischer Beziehung zueinander. Dabei ist die Anzahl der Symbole unbeschränkt. Ein physikalisches Symbolsystem verfügt über eine Fülle an Symbolstrukturen<sup>46</sup>.

### **Prozesse (Operationen)**

Operationen müssen zur Verfügung gestellt werden, um auf den Ausdrücken zu arbeiten und um so neue Symbolstrukturen zu schaffen. Einige grundlegende Operationen sind im System implementiert und verändern dabei Ausdrücke an anderen Stellen (z.B. create, modify, copy, delete)<sup>47</sup>.

### **Designation und Interpretation**

Von zentraler Bedeutung für die Struktur dieser Ausdrücke sind die Begriffe Designation und Interpretation.

- (1) **Designation:** Dabei handelt es sich um die Zuordnung von Symbolen zu wahrgenommenen Elementen (Bezeichnung). Durch die Designation wird es dem System ermöglicht die Realwelt zu beeinflussen oder auf jene zu reagieren<sup>48</sup>.
- (2) **Interpretation:** Dabei handelt es sich um die Fähigkeit des Systems einen Ausdruck, der einen Prozess beschreibt, auszuwerten und auszuführen<sup>49</sup>.

---

<sup>44</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 08.04.2010

<sup>45</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

<sup>46</sup> <http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>, 08.04.2010

<sup>47</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 08.04.2010

<sup>48</sup> Newell & Simon (1976)

<sup>49</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 08.04.2010

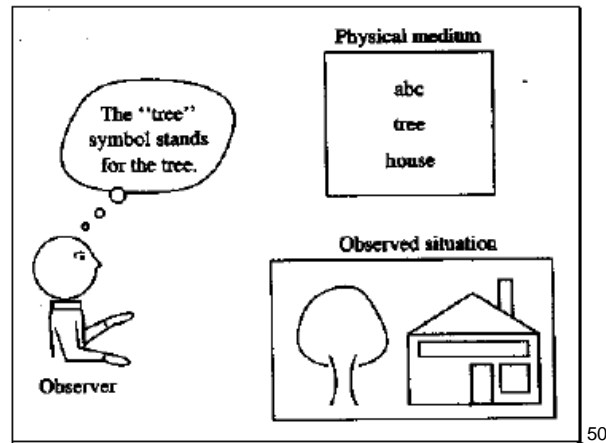


Abb. 4.: Designation

## 5.2) Die fünf Axiome

Ein Symbolsystem muss eine Reihe von Voraussetzungen erfüllen, welche wichtige und weit reichende Konsequenzen haben. Diese wären:

- (1) Die Wahl der Symbole ist beliebig. Die Symbole können für jeden beliebigen Ausdruck verwendet werden.
- (2) Es existieren Ausdrücke, die alle möglichen Prozesse eines Systems beschreiben können.
- (3) Das System verfügt über Prozesse, die jeglichen Ausdruck generieren und in beliebiger Weise modifizieren können.
- (4) Ausdrücke sind stabil- solange bis sie modifiziert oder gelöscht werden.
- (5) Die Anzahl der Ausdrücke ist unbegrenzt<sup>51</sup>.

## 5.3) Die „notwendige“ und „hinreichende“ Seite der Hypothese

Mit „*notwendig*“ meinen die Autoren, dass die Analyse jedes Systems mit allgemeiner Intelligenz zeigen würde, dass es ein Physikalisches Symbolsystem ist<sup>52</sup>. Durch das Wort

<sup>50</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 08.04.2010

<sup>51</sup> <http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>, 08.04.2010

<sup>52</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

„hinreichend“ wollen die Autoren darauf aufmerksam machen, dass jedes System, welches die Fähigkeit zur Symbolmanipulation besitzt auch allgemeine Intelligenz entwickeln kann. Newell und Simon wünschen sich bei „*allgemein intelligenten Handlung*“ die gleiche Bandbreite an Intelligenz wie man sie bei menschlichen Handlungen vorfindet. Für die Autoren finden sich intelligente Handlungen überall um uns herum, am häufigsten aber im menschlichen Verhalten<sup>53</sup>. Das schließt Tätigkeiten wie Planungsaufgaben, Sprechen, Lesen, Komponieren von Musik usw. ein. Des Weiteren ist „allgemeine Intelligenz“ charakterisiert durch zielorientiertes Verhalten und Anpassungsfähigkeit an die Umwelt (erzeugen und modifizieren von Ausdrücken)<sup>54</sup>.

### **Exkurs: Menschliche Intelligenz nach Newell**

1980 formulierte Newell verschiedene Komponenten menschlicher Intelligenz:

- Universalität
- Verhalten in Echtzeit
- Rationalität
- Verwendung v. Wissen über die Umwelt
- Robustheit gegenüber Fehler/Irrtümer
- Verwendung v. Symbolen
- Verwendung v. natürlicher Sprache
- (Selbst-)Bewusstsein
- Lernfähigkeit
- Weiterentwickeln von Fähigkeiten
- Weiterentwicklung durch Evolution
- Implementierbarkeit mit dem Gehirn als phys. System
- Implementierbarkeit als phys. System<sup>55</sup>

## 5.4) Fazit

Die PSSH besagt, dass jedes System das Symbol physikalisch realisiert, ein intelligentes System sein kann und dass jedes intelligente System ein symbolverarbeitendes System ist. Demnach findet auch beim Menschen Symbolverarbeitung statt.

---

<sup>53</sup> Newell & Simon (1976)

<sup>54</sup> Karagiannis D. und Telesko, R.

<sup>55</sup> [http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ss06/hs\\_philfound/vortraege/pssh.pdf](http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ss06/hs_philfound/vortraege/pssh.pdf)

Die Autoren machen ausdrücklich darauf aufmerksam, dass es sich bei der Hypothese um kein Theorem handelt. Des Weiteren gestehen sich Simon und Newell ein, dass die Hypothese auch falsch sein kann und darum von manchen Forschern als nicht haltbar angesehen wird. Die Autoren sehen keine Möglichkeiten die Verbindung zwischen Symbolsystemen und Intelligenz durch eine rein logische Begründung zu zeigen. Durch empirische Untersuchungen des Problemlösens, durch maschinelle Suchverfahren sowie durch Denkprozesse, bei denen Symbolverarbeitung stattfindet, versuchten die Autoren die Hypothese zu untermauern<sup>56</sup>.

## 5.) Problemlösen

Unter Problemlösen versteht man das Bestreben, einen gegebenen Zustand (Anfangszustand) in einen anderen, gewünschten Zustand (Zielzustand) zu überführen, wobei es gilt, eine Barriere zu überwinden, die die unmittelbare Überführung des Anfangszustandes in den Zielzustand verhindert<sup>57</sup>.

Die Fähigkeit Probleme zu lösen ist ein Hauptmerkmal menschlicher Intelligenz. Man versuchte Leistungen menschlicher Intelligenz, erstmals mit Problemlösungssysteme in Computern nachzubilden. Viele Problemlösungsprozesse können als Suchprozesse formuliert werden, wobei auch Symbolsysteme auf solche Prozesse zurückgreifen. Die Suche orientiert sich dabei nach einer oder mehreren möglichen Lösungen oder nach der besten verfügbaren. Damit ein künstliches System eine Suche durchführen kann, muss festgestellt werden, in welchen Zustand die Suche gestartet und beendet werden soll, d.h. wann eine Lösung gefunden ist. Auch die Anzahl der Schritte auf dem Weg zur Lösung muss vorgegeben werden. Als Erstes müssen alle möglichen Lösungen im System verfügbar sein.<sup>58</sup> Dazu generiert das System alle möglichen Lösungen für ein Problem und testet diese anschließend<sup>59</sup>. Um effizient suchen zu können ist es notwendig den Problemlösungsraum auf den Suchraum einzuschränken. Im Suchraum findet der eigentliche Suchprozess nach einer Lösung statt.

---

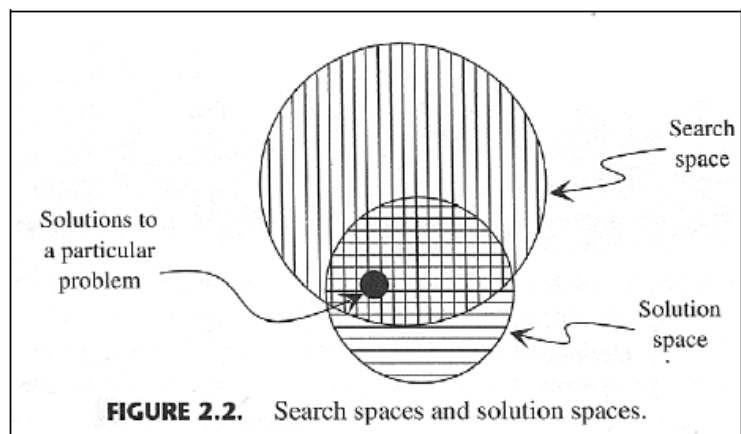
<sup>56</sup> <http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>, 11.04.2010

<sup>57</sup> [http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0304/v104\\_suche.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0304/v104_suche.pdf), 11.04.2010

<sup>58</sup> Karagiannis, D. & Telsko, R. (2001)

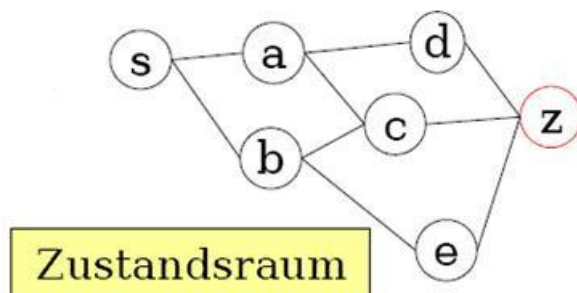
<sup>59</sup> Newell & Simon (1976)

- (1) In einem Problemraum werden alle möglichen Zustände des Problems repräsentiert, die bei der Bearbeitung des Problems, beim Hinführen von Anfangs in den Zielzustand auftreten können.
- (2) Suchraum: Menge der Symbolstrukturen, die von einem Programm als mögliche Lösungswege angesehen werden
- (3) Lösungsraum: Menge der Lösungen des Problems, unabhängig davon, ob ein Programm all diese Lösungen erreichen kann.



**Abb. 5: Überschneidung von Such- und Lösungsraum**

Ein Problem kann als Suchbaum dargestellt werden. Ein Suchbaum ist die Anordnung von Systemzuständen und deren Verbindungen. Dabei werden die Problemzustände als Knoten und die Operationen bzw. Lösungswege als Kanten dargestellt. Übertragen auf unser Schachbeispiel wären die Knoten die einzelnen Figurenbewegungen und die Kanten, die Schritte, welches das System durchläuft, um zu diesen Knoten zu gelangen. Der typische Suchbaum steht auf dem Kopf. Die Wurzeln befinden sich oben und die Blätter unten. Die Blätter geben die Lösungen oder Sackgassen an. Lösungswege sind Pfade vom aktuellen Zustand zu einem Zielzustand<sup>60</sup>.



<sup>60</sup> Lenzen, 2002



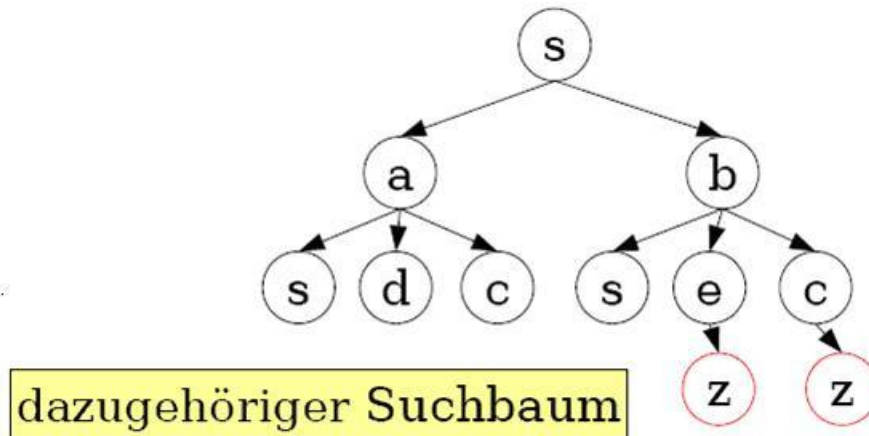


Abb. 6: Zustandsraum mit dazugehörigem Suchbaum

Lösungen können im Suchraum mittels zwei Methoden erkannt werden: uniformierte und heuristische Suchverfahren.

### 5.1) Uniformierte Suche

Die uniformierte Suche funktioniert nach dem sog. „blind search“ Prinzip, d.h. der Problemraum wird „blind“ abgearbeitet, bis der Zielzustand erreicht ist. Das Problem dieses Suchverfahren liegt darin, dass die Suchbäume zu groß werden können und deshalb nicht effizient sind. Innerhalb der „blind- search“ Kategorie unterscheidet man die Breiten- und Tiefensuche.

#### 5.1.1) Tiefensuche

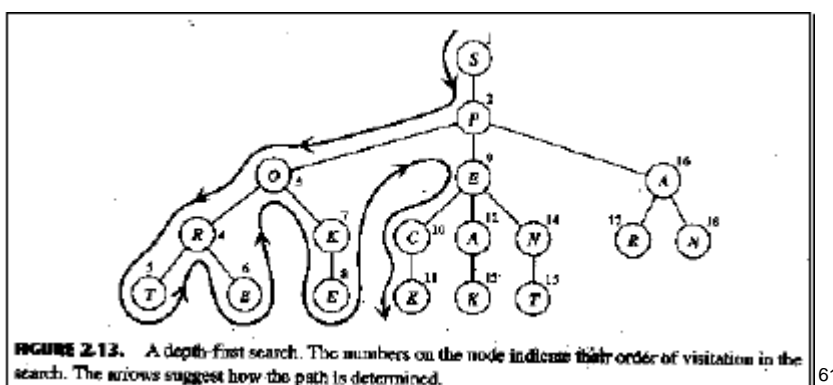


Abb. 7: Suchbaum mit dargestellter Tiefensuche

<sup>61</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 12.04.2010

Hierbei durchforstet das Programm erst einen Ast des Suchbaumes bis in die feinsten Verzweigungen und steigt dann zum Nächsten auf, um diesen abzuarbeiten<sup>62</sup>. Die Tiefensuche ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und nicht vollständig<sup>63</sup>.

### 5.1.2) Breitensuche

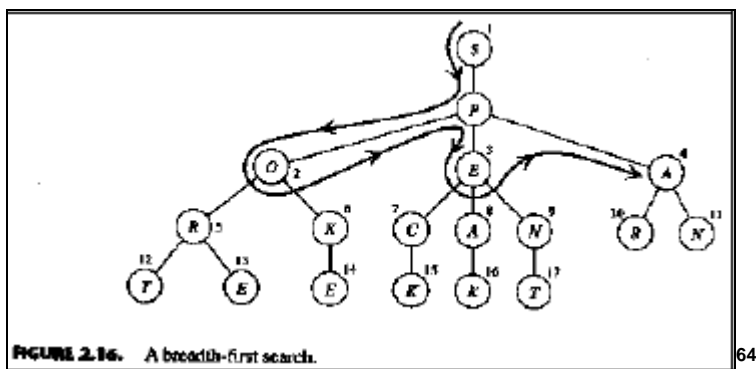


Abb. 8: Suchbaum mit dargestellter Breitensuche

Dieses Verfahren durchforstet den Baum Schicht für Schicht, von oben nach unten. Die Breitensuche gestaltet sich als langsam und speicherhungrig.

Die eben beschriebenen Suchverfahren sind bei komplexen Aufgaben nicht möglich. Dies soll am Schachbeispiel verdeutlicht werden:

„Beim Schachspiel etwa hat jeder Spieler, wenn er am Zug ist, etwa 30 Möglichkeiten zu ziehen, von jedem Knoten im Lösungsbaum gehen also wieder 30 Pfade zu neuen Knoten, von denen wiederum je 30 Pfade abzweigen. Einen vollen Zug (Zug und Gegenzug) vorzuschauen, würde bedeuten, etwa 1000 Möglichkeiten zu berücksichtigen. Bei vier Zügen hätte sich diese auf eine Billion summiert, ein Spiel mit 40 Zügen käme auf  $10^{120}$  Kombinationen, die zu prüfen wären. Das sind mehr Möglichkeiten als es im Universum Subatomare Partikel gibt<sup>65</sup>. Dieses Phänomen wird als kombinatorische Explosion bezeichnet.

<sup>62</sup> Lenzen, 2002

<sup>63</sup> <http://www-user.tu-chemnitz.de/~stj/lehre/prosem04/suche.pdf>, 12.04.2010

<sup>64</sup> <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>, 12.04.2010

<sup>65</sup> Lenzen, 2002, S. 41

Bereits bei schlanken Suchbäumen würde die Zeit und die Rechenkapazität ins Unermessliche ansteigen<sup>66</sup>. Darum war eine Alternative zu den „blind-search“ Verfahren notwendig.

Bei diesen zweiten Suchverfahren handelt es sich um die sog. Heuristiken (informierte Suche). Diese führen nur jene Handlungen im Suchraum aus, die am wahrscheinlichsten zur Lösung führen. Im Folgenden werden wir auf die Heuristiken näher eingehen<sup>67</sup>.

## 5.2) Informierte Suche: Heuristiken

Das Wort Heuristik kommt vom Griechischen „heuriskein“ und bedeutet „finden“ bzw. „entdecken“<sup>68</sup>.

Der Mathematiker Polya Georg definierte Heuristik wie folgt: „Untersuchung der Mittel und Methoden des Aufgabenlösenden“. Bei Heuristiken handelt es sich um Strategien oder Faustregeln, die das Auffinden von Lösungen beschleunigen und vereinfachen sollen. Es gibt verschiedene heuristische Suchverfahren, z.B. die Hill-Climbing-Suche, Best-First Suche, A\*-Suche usw. Auf die einzelnen Suchverfahren werden wir jedoch nicht näher eingehen. Gemeinsam ist den heuristischen Suchverfahren, dass sie Wissen über das konkrete Suchproblem ausnutzen<sup>69</sup>. Um festzustellen, wo sie als nächstes Suchen sollen, werden einerseits die Knoten bewertet<sup>70</sup>, andererseits wird die kürzeste Distanz von einem Knoten zum Zielknoten geschätzt<sup>71</sup>.

Heuristiken werden eingesetzt, wenn es keine exakte Lösung für ein Problem gibt und wenn der Suchbaum zu groß werden würde. Ein Beispiel für eine nicht exakte Lösung wäre die Diagnostik in der Medizin. Bei Spielen würde hingegen der zweite Fall eintreten, nämlich die unüberschaubare Größe der Suchbäume.

Die Faustregeln werden in das System integriert. Ein Beispiel für eine Heuristik beim Schach könnte wie folgt lauten: „Entwickle nur Züge, die nicht sofort zu Verlusten führen“. Das hat den Nachteil, dass die Programme unflexibel werden. Auf das Schachbeispiel

---

<sup>66</sup> Lenzen, 2002

<sup>67</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

<sup>68</sup> [http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0607/s\\_planning/slides/PHS\\_Vortrag.pdf](http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0607/s_planning/slides/PHS_Vortrag.pdf), 12.04.2010

<sup>69</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

<sup>70</sup> [http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0304/vl04\\_suche.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0304/vl04_suche.pdf), 12.04.2010

<sup>71</sup> Lenzen, 2002

übertragen bedeutet dies: jene Züge, die mit einem Verlust einhergehen würden, können nicht gefunden werden, was das Programm natürlich einschränkt und unflexibel macht<sup>72</sup>.

Wie ersichtlich, empfiehlt es sich also Heuristiken bei der Suche zu verwenden, da sie klare Vorteile gegenüber der Tiefen- und Breitensuche haben.

---

<sup>72</sup> Karagiannis & Telesko, 2001

# Literaturverzeichnis

## Bücherquellen

Karagiannis, D. & Telesko R. (2001). *Wissensmanagement. Konzepte der Künstlichen Intelligenz und des Softcomputing*. Berlin: Oldenbourg

Kolar, G. (2009). *VL: Spez. Themen der Kognitionspsychologie (4 Gruppen)*. Vorlesungsfolien der Leopold- Franzens- Universität Innsbruck.

Lenzen, M. (2002). *Natürliche und künstliche Intelligenz. Einführung in die Kognitionswissenschaft*. Frankfurt: Campus

Newell, A. & Simon, H. A. (1976). Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM*, 19 (3), 113-126.

Sprekelsen, C. & Spitzer K. (2008). *Wissensbasen und Expertensysteme in der Medizin*. Stuttgart: Teubner B.G. GmbH

Weber, K. (1999). *Simulation und Erklärung: Kognitionswissenschaft und KI-Forscher in wissenschaftstheoretischer Perspektive*. Berlin: Waxmann

## Internetquellen

[http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0405/s\\_planning/slides/GPSGOMS.pdf](http://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ws0405/s_planning/slides/GPSGOMS.pdf)

<http://datapeak.net/images/Simon6.jpg>

<http://diva.library.cmu.edu/Newell/newell1.gif>

<http://www.freitag.de/2002/08/02081601.php>

<http://www.fs-psychologie.uni-bonn.de/download/aushaupt/R1-ki.pdf>

<http://www.ki.informatik.uni-frankfurt.de/lehre/SS2006/KI/skript/KI-1.pdf>

<http://www.logic.at/lvas/185170/13-Major.pdf>

<http://www.lr-develop.de/wiki/index.php/PSSH>,

[http://www.medpsych.uni-freiburg.de/OL/glossar/body\\_kognitive\\_prozesse.html](http://www.medpsych.uni-freiburg.de/OL/glossar/body_kognitive_prozesse.html)

<http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/attachments/LVTermine/IMG1-VL12.pdf> und

<http://www.techfak.uni->

[bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0910/Kurztext\\_Teil1neu.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0910/Kurztext_Teil1neu.pdf)

<http://www.techfak.uni->

[bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden\\_der\\_KI/WS0910/Kurztext\\_Teil1neu.pdf](http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/Methoden_der_KI/WS0910/Kurztext_Teil1neu.pdf)

<http://users.informatik.haw-hamburg.de/~luck/ki-fol.pdf>

<http://www-user.tu-chemnitz.de/~stj/lehre/prosem04/suche.pdf>

<http://www.weiprecht.de/lcons/nnmod2.png>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Allen\\_Newell](http://de.wikipedia.org/wiki/Allen_Newell)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Herbert\\_Simon](http://de.wikipedia.org/wiki/Herbert_Simon)

[http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche\\_Intelligenz](http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Konnektionismus>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles\\_Lernen](http://de.wikipedia.org/wiki/Maschinelles_Lernen)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down\\_und\\_Bottom-up\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down_und_Bottom-up)