

Otto-Friedrich-Universität Bamberg
Professur für Angewandte Informatik /
Kognitive Systeme



Ausarbeitung des KogSys-Seminars

Analogie

Thema:

Analogie als Kern der Kognition

Vorgelegt von:

Oleksandr Bober

Betreuer: Prof. Dr. Ute Schmid

Bamberg, Wintersemester 2007/08

Inhaltsverzeichnis

1	Abstrakt	4
2	Konzept, Wahrnehmung, Gedächtnis und Analogie	5
3	Sprache und Analogie	14
4	Copycat	15
5	Fazit	20
	Literaturverzeichnis	22

Abbildungsverzeichnis

1	Typischer Aufbau eines Neurons, Autor: Mariana Ruiz Villarreal.	8
2	Überlappende Aktivierungsmuster / Analogienbündel.	9
3	Benutzeroberfläche, Copycat, [UniQueensland2008].	15
4	„Gleichheit“ Gruppe, Copycat, [UniQueensland2008].	16
5	„Nachvolger“ Gruppe, Copycat, [UniQueensland2008].	17
6	Slipnet, [Chalmers1991].	17
7	Blinder Fleck, [theBrain2008].	20

1 Abstrakt

In dieser Arbeit wird die Sicht von Douglas Hofstadter und seiner Gruppe auf Analogie und ihre Rolle in der menschliche Kognition dargestellt. Zuerst wird versucht den Begriff Analogie wörtlich und allgemein zu analysieren, dann werden Grundsätze des Standpunktes von Hofstadter dargelegt, dabei wird auf die Begriffe Konzept, Wahrnehmung, mentale Darstellung, Gedächtnis und deren Beziehung zur Analogie eingegangen. Parallel wird versucht physiologische Hintergründe etwas zu beleuchten, und die Erklärungspotential von Hypothesen von Hofstadter bezüglich dieser Hintergründe zu untersuchen, dabei kommen Begriffe Aktivierungsmuster und synaptische Plastizität in Vordergrund. Anschließend wird auf die Kritik eingegangen, die Hofstadter an die symbolverarbeitende Modelle der Kognition adressiert und ein Gegenargument gezeigt. Weiter wird über den Zusammenhang von der Sprache und der Analogie unter dem Blickwinkel der Kommunikation gesprochen. Daraufhin wird ein von Hofstadter und seiner Gruppe entwickeltes Modell zur Analogie namens „Copycat“ vorgestellt, welches von Hofstadter vorgeschlagene Prinzipien realisieren soll. Dieses Modell operiert auf der Domain von Strings von Buchstaben und beantwortet Fragen der Gestalt: „*abc* bezieht sich zu *abd* wie *xyz* zu was?“ Ein Fazit mit persönlicher Stellungnahme schließt die Arbeit ab.

2 Konzept, Wahrnehmung, Gedächtnis und Analogie

Das Wort Analogie kommt von der griechischen Sprache und setzt sich zusammen aus *ana* (ἀνά) mit der Bedeutungen: „auf, hinauf, auseinander, zusammen, wieder, gegen, entsprechend, pro, je Teil“ und *logos* (λογος) mit der Bedeutungen: „Wort, Rede, Sinn“. Die Bedeutung des Wortes *logos* ist weit fassbar:

„Der logos bedeutet in der griechischen Grammatik erst einmal „(geschriebene) Rede“ im Sinne ihres materiellen Gehaltes von Buchstaben, Wörtern, Syntagmen und Sätzen, in der griechischen Rhetorik dann „(gesprochene) Rede“ im Sinne ihres Inhaltes. (vgl. Hoffmeister) ...

... In der griechischen Philosophie findet sich der Terminus bei Heraklit als eine die Welt durchwirkende (oder über den Göttern angesiedelte) Gesetzmäßigkeit. Wolfgang Schadewaldt übersetzt es mit: Proportionalität. Platon abstrahiert den Ausdruck logos dann so weit, dass er mit der Bedeutung „Darstellung“ oder „Erklärung“ als philosophisches Vokabular nutzbar wird, jedoch ohne an zentraler Position eine Rolle zu spielen. Bei Aristoteles wird er so dann zur „Definition“.“ [wiki2008]

Man könnte also der *logos* als Sinn, Bedeutung, Erklärung von Symbolen, Gegenständen, Dingen fassen. Und Analogos somit als: „je Teil (gleiches) Sinn“, „wieder (gleiches) Sinn (Darstellung, Erklärung)“, „zusammen (–genommen) Sinn (–ergebend)“, „gegen(–über liegendes), entsprechendes (im Sinne der Spiegelung, also der Gleichheit) Sinn (Darstellung, Erklärung).

In dieser Fassung von Analogie wird die Existenz von den mindestens zwei Dingen vorausgesetzt. Und wenn die Dinge gleiches Sinn haben, dann sind sie in gewissem Sinne analog. Wobei unter Sinn eines Dinges versteht man dessen Essenz, das was das Wesen dieses Dinges ausmacht und zwar nicht absolut sondern relativ zu dem Betrachter und seinen Zielen. Der Betrachter mißt einem Ding eine Bedeutung, ein Sinn bei. Abhängig von der Beschaffenheit des Dinges kann es mehr oder weniger sinnvoll für den Betrachter im Hinblick auf dessen Ziele erscheinen. Zwei oder mehrere Dinge sind für einem Betrachter dann analog, wenn sie durch ihre Beschaffenheit, ihre Essenz, ihres Wesen für die Ziele des Betrachters gleiches Sinn haben. Beispiele: Will jemand ein Feuer machen, so sind für ihm ein Stück Holz und ein Buch analog. Der gleiche Sinn von Holz und Buch ist, dass die beide Dinge brennen können. Will man irgendein Kriminalroman lesen, so sind für ihm zwei Romane erst dann analog wenn sie beide Kriminalromane sind. Was macht einen Krimi-

nalroman aus, dessen Sinn? Sicherlich nicht die Namen der Hauptpersonen und nicht die andere konkrete Details, sondern eine bestimmte Struktur des Sujets, die ein Roman als Kriminalroman betrachten lässt.

Wie verhält sich Analogie zur Gleichheit? Zwei Gegenstände oder Prozesse oder, allgemein, Dinge sind dann gleich oder identisch, wenn Anzahl der diese Dinge beschreibende Merkmale und deren Ausprägungen gleich sind. Falls nicht alle Merkmale übereinstimmen oder die Übereinstimmung nicht genau ist, dann sind zwei Dinge ähnlich. In dem Fall wo es keine Übereinstimmung zwischen den Merkmalen gibt, sind zwei Dinge völlig ungleich. Die Merkmale und deren Ausprägungen beschreiben ein Ding, im Gegensatz zu Analogie, unabhängig von dem Betrachter und dessen Zielen. So können ähnlich aussehende Dinge für einem Betrachter nicht analog erscheinen und umgekehrt. Es kommt also auf eine bestimmte Teilmenge der Merkmale die für einen Betrachter gerade wichtig sind. Diese Teilmenge bildet dann ein Konzept. Zum Beispiel den Konzept des Brennstoffes oder den Konzept des Kriminalromans. Wie Douglas Hofstadter schreibt:

„... that every concept we have is essentially nothing but a tightly packaged bundle of analogies ...“ [Hofstadter2001]

Konzepte bilden Grundlage der kognitiven Tätigkeit, und wenn man annimmt das Konzepte erst durch die Analogieinbildung gebildet werden, dann kann man die Bildung von Analogien als Kern der kognitiven Tätigkeit sehen:

„... that all we do when we think is to move fluidly from concept to concept—in other words, to leap from one analogy–bundle to another...“ [Hofstadter2001]

Eventuell die früheste Erfahrung mit der Analogienbildung bezieht sich auf das Phänomen der Perspektive. Ein Gegenstand sieht aus großer Entfernung klein. Wird die Entfernung kleiner, nimmt der Gegenstand immer größeren Bereich des Blickfeldes. Dabei lernt der Betrachter die Teilmenge der Merkmalen die zwecks des Erkennens dieses Gegenstandes unabhängig von der Entfernung wichtig sind, nämlich seine Form, Farbe und nicht die wahrgenommene Größe.

Beim bewusstem Wahrnehmen der Umwelt wird eine sehr große Menge von zunächst sinnlosen Signalen über Sinnesorgane empfangen. Diese Signale werden dann im Hirn so verarbeitet, dass man bewusst wird dessen was man sieht oder hört, so entsteht eine mentale Darstellung der Umwelt:

„High–level perception – the process of making sense of complex data at an abstract, conceptual level – is fundamental to human cognition. Through high–

level perception, chaotic environmental stimuli are organized into the mental representations that are used throughout cognitive processing...

... High-level perception, on the other hand, involves taking a more global view of this information, extracting meaning from the raw material by accessing concepts, and making sense of situations at a conceptual level. This ranges from the recognition of objects to the grasping of abstract relations, and on to understanding entire situations as coherent wholes.“ [Chalmers1991]

Mann könnte das Wahrnehmen gedanklich in zwei Phasen zerlegen: das Wahrnehmen auf niedriger Ebene and das Wahrnehmen auf hoher Ebene. Während der ersten Phase werden die Rohdaten verarbeitet, irgendwie gefiltert, aggregiert. Danach in der zweiten Phase wird aus der vorbereiteten, besser überschaubaren Daten die Bedeutung gewonnen, indem nach Hofstadter versucht wird Analogien zu dem was man schon früher wahrgenommen (gesehen, gehört) hat zu bilden, das heißt in schon bestehende Konzepte formen, zu Analogienbündel des Konzepts hinzufügen:

„The triggering of prior mental categories by some kind of input – whether sensory or more abstract – is, I insist, an act of analogy-making. ...

... whenever a set of incoming stimuli activates one or more mental categories, some amount of slippage must occur (no instance of a category ever being precisely identical to a prior instance). Categories are quintessentially fluid entities; they adapt to a set of incoming stimuli and try to align themselves with it. The process of inexact matching between prior categories and new things being perceived (whether those “things“ are physical objects or bite-size events or grand sagas) is analogy-making par excellence.“ [Hofstadter2001]

Mit dem Schlupf (engl. „*slippage*“) wird eine Situation bezeichnet, wenn bei der Analogienbildung in der Teilmenge der Merkmalen, die in der Analogienbildung teilnehmen, unterschiedliche Merkmale von beiden Dingen oder deren Ausprägungen als gleich gesehen werden. Der Schlupf ist aber nur dann möglich und wahrscheinlich wenn beider Merkmale semantisch sehr nahe zueinander sind. Beispiel: String *abc* ist zu dem String *mlkj* in dem Sinne analog, dass benachbarten Buchstaben von links nach rechts gesehen durch die Nachfolger- bzw. Vorgängerbeziehung in dem englischen Alphabet charakterisiert werden können. In diesem Fall wird Merkmal „Vorgänger“ mit dem Merkmal „Nachfolger“ gleichgestellt. Diese Technik verwendet Hofstadter in seiner System zur Modellierung der Analogienbildung „Copycat“.

Wie sieht durch die Wahrnehmung entstandene mentale Darstellung physikalisch aus? Und wie entstehen sie genau aus der Rohdaten? Das sind Fragen der aktuelle Forschung. Es könnte sein, dass physikalische Struktur des

biologischen neuronalen Netzes durch seine teilweise hierarchische Aufbau, Arbeitsweise der einzelner Nervenzellen, Siehe Abbildung 1. und die massive parallele Bearbeitung (bei der, bestimmte Gruppen von Nervenzellen für nur bestimmte Bereiche, zum Beispiel, des Gesichtsfeldes oder bestimmte Eigenschaften des Signals wie Helligkeit, Farbe, Bewegung zuständig sind) solche Informationsverarbeitung unterstützt, dass abhängig von der Form eines komplexes Eingangssignals, wie, zum Beispiel, das Sehen, bestimmte Muster (Verbindungen von Nervenzellen) in dem neuronalen Netz aktiviert werden.

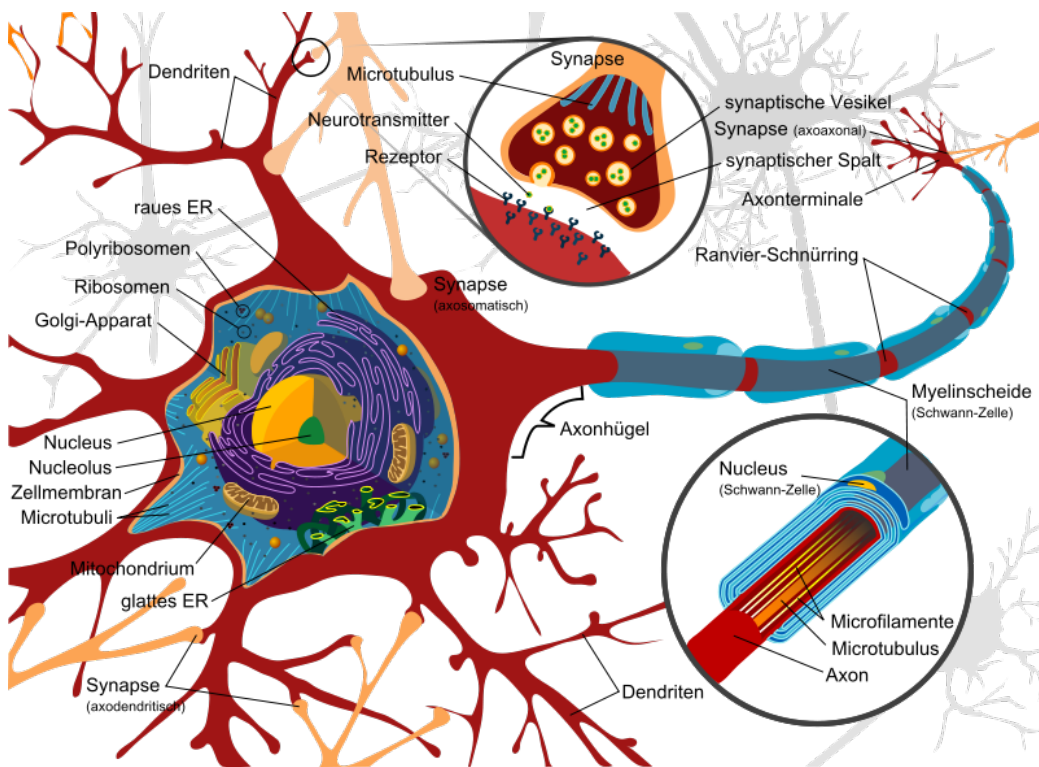


Abbildung 1: Typischer Aufbau eines Neurons, Autor: Mariana Ruiz Villarreal.

Dieses Modell gehört zu dem so genannten Konnektionismus, das die Informationsverarbeitung im Gehirn durch das Ansammeln neuronaler Reize zu, so genannten, Aktivierungsmuster zu erklären versucht. Zunächst werden Muster für, zum Beispiel, Kanten aktiviert, damit man die Gegenstände von dem Hintergrund abgrenzen kann, dann werden die Muster für immer höhere Konzepte wie bestimmte geometrische Figuren, zum Beispiel, Quadrat oder Formen, zum Beispiel, ein bestimmtes Gesicht aktiviert. Dabei haben Nervenzellen, die ein bestimmtes Aktivierungsmuster formen, unterschiedliche Empfindlichkeitsbereiche und sind nur dann aktiviert, falls in diesen Berei-

Zum Beispiel, wenn ich „3“ sehe, dann sehe ich erstmals nichts außer der bestimmten Form, die ich von anderen Formen unterscheiden kann. Erst, wenn die Konzepte „Natürliche Zahlen“, „2“, „4“, „größer“, „kleiner“ aktiviert werden, wird für mich klar, dass ich eine natürliche Zahl, die größer 2 und kleiner 4 ist, sehe. Welche Konzepte zusätzlich aktiviert werden, hängt davon ab welche Konzepte schon aktiv sind, weil sie Aktivierungsgeschwindigkeit anderer Konzepte beeinflussen können. Es hängt mit anderen Wörtern von Kontext ab. Handelte es sich in dem oberen Beispiel über eine Rechenaufgabe in der nur reelle Zahlen sinnvoll vorkommen könnten, dann würden eventuell Konzepte wie „Reelle Zahlen“ statt „Natürliche Zahlen“, „zu dem Interval mit den bestimmten Grenzen gehörig“ statt „größer“ und „kleiner“, „decimale Darstellung“, „Abrundung“ usw. zusätzlich aktiviert.

Wenn ein Muster aktiv ist verbessern die Synapsen, die zwei gleichzeitig aktive Neurone in diesem Muster miteinander verbinden, ihre Fähigkeit Aktivierungspotential zu übertragen, bei Nichtaktivität wird diese Fähigkeit verringert. Dieser Effekt nennt man synaptische Plastizität, er wurde von Donald Olding Hebb entdeckt. Gerade durch synaptische Plastizität werden bestimmte Teilnetze von Neuronen schneller aktiviert und unterdrücken seinerseits die Aktivierung der benachbarten Neuronen, so entsteht ein ausgeprägtes Aktivierungsmuster. Synaptische Plastizität ist wahrscheinlich eine der physikalischen Grundlage für das Gedächtnis und das Lernen.

Um ein Aktivierungsmuster zu lernen, müssen alle Neuronen in diesem Muster eine Zeit lang gleichzeitig aktiviert bleiben, damit sich die Verknüpfungen (Synapse) verbessern, und das beobachtete Fakten oder Ereignisse in das Langzeitgedächtnis eingehen. Diese Aufgabe übernimmt der Hypokampus.

„For example, after you have had a fine dinner with some friends, your memories of their faces, the taste of the wine, and the music that was playing are distributed in the various visual, olfactory, and auditory areas of the brain, but they are all connected together by the hippocampus to form an "episode", rather than remaining a collection of separate memories. ...

... it seems to be the hippocampus that enables you to "play the scene back", by reactivating this particular activity pattern in the various regions of the cortex. ...

... But after a while, these various cortical regions activated during an event would become so strongly linked with one another that they would no longer need the hippocampus to act as their link. Thanks to this linkage, the memory of a piece of music that was playing that night could be enough to bring back the entire scene of the dinner party. Each of these elements could act as an index entry that lets you retrieve all the others to your consciousness.

Thus, information that has been encoded in long-term memory for a lengthy period of time no longer requires the intervention of the hippocampus.“
[theBrain2008]

Das obere Zitat, beschreibt den Mechanismus der Langzeitgedächtnisbildung, dieser oder ähnlicher Mechanismus könnte auch für die Verbindung von den Konzepten auf hoher Ebene untereinander oder für die Verbindung von Analogien zum Konzept zuständig sein.

Außer der Struktur der mentalen Darstellung der Umwelt und des Prozesses der mechanischen Bildung solcher Darstellungen, ist es nach Hofstadter auch interessant, wie der aktuelle mentale Situation (Kontext), die Wahrnehmung und die Bildung von mentalen Darstellungen beeinflusst? Wie kann Wahrnehmung bei den gleichen Eingangsdaten von einer mentale Darstellung zu anderer mentale Darstellung bewusst oder unbewusst umgeschaltet werden? An welcher Stelle in dem Prozess von Wahrnehmung wird auf die Konzepte zugegriffen? Wo die Bedeutung erscheint und wie das Verständnis entsteht?

Hofstadter meint das die korrekte Herangehensweise an diese Fragen ist die, bei der Wahrnehmung als Prozess von Bildung von mentalen Darstellungen, Aufgrund gegenseitiger Abhängigkeit, als untrennbar von anderen kognitiven Prozessen betrachtet wird und übt eine sehr scharfe Kritik an die Forscher die beide Prozesse trennen:

„The main thesis of this paper is that high-level perception is deeply interwoven with other cognitive processes, and that researchers in artificial intelligence must therefore integrate perceptual processing into their modeling of cognition. Much work in artificial intelligence has attempted to model conceptual processes independently of perceptual processes, but we will argue that this approach cannot lead to a satisfactory understanding of the human mind.“
[Chalmers1991]

Hofstadter argumentiert weiter, dass auch wenn man die korrekte Form von mentale Darstellung gefunden hat, wird es immer noch unklar sein wie diese Form aus dem sehr großem Volumen von Rohdaten gewonnen wurde. Es müsste eine große Menge von Eingangsdaten, die unterschiedlichste, für die Wahrnehmung auf hoher Ebene nicht relevante Details darstellen, gefiltert werden. Wie wird aber entschieden was für den aktuellen Wahrnehmung Prozess wichtig ist und was nicht? Hofstadter nennt das „Das Problem der Relevanz“. Das zweite Problem nennt er „Das Problem der Organisation“. Es liegt daran, dass auch wenn die korrekte Form von mentale Darstellung gefunden wurde und nur relevante Daten aus dem Input selektiert wurde, wird es immer noch unklar sein, wie diese Daten in die Form von mentaler Darstellung

korrekterweise organisiert werden. Außerdem müssen mentale Darstellung und Wahrnehmung flexibel genug sein um in den jeweiligen Kontext angepasst werden zu können. Seine Kritik geht an die objektivistische Sicht auf Wahrnehmung und mentale Darstellung in der KI Forschung. Für diese Sicht ist charakteristisch, dass die Realität eine einzig wahre Darstellung hat in form von Objekten deren Eigenschaften und Relationen zwischen Objekten, die unabhängig von menschlichen Verstand ist:

„The Physical Symbol System Hypothesis (Newell and Simon 1976), upon which most of the traditional AI enterprise has been built, posits that thinking occurs through the manipulation of symbolic representations, which are composed of atomic symbolic primitives. Such symbolic representations are by their nature somewhat rigid, black-and-white entities, and it is difficult for their representational content to shift subtly in response to changes in context. The result, in practice – irrespective of whether this was intended by the original proponents of this framework – is a structuring of reality that tends to be as fixed and absolute as that of the objectivist position outlined above.“ [Chalmers1991]

Andererseits bemerkt er, dass in den konnektionistischen Modellen mentale Darstellung abhängig von Kontext sind und, in Netzwerken mit rekurrenten Verbindungen, auch abhängig von dem internen Zustand gebildet werden. Solche Systeme sind aber immer noch nicht genug komplex:

„Nonetheless, the models are still somewhat primitive, and the representations they develop are not nearly as complex as the hand-coded, hierarchically-structured representations found in traditional models; still, it seems to be a step in the right direction.“ [Chalmers1991]

Clayton T. Morrison and Eric Dietrich sehen Hofstadters Kritik an die symbolverarbeitenden Systeme für Analogiemodellierung, zum Beispiel, an SME [Falkenhainer1989], insbesondere als Ergebnis falsch verstandenen Zielen solcher Systemen. Die im Fall SME in dem *Erkennen, Verstehen* von Analogien liegen und nicht, wie im Fall „Copycat“ [Hofstadter1984], in der *Bildung* von Analogien:

„SME is a model of analogy understanding or comprehension, where the cognitive agent is given the analogy and must understand it given its current knowledge database (i.e., construct a representation from existing ones). In this case, there may be no need for construction of novel representations, and this limits its capacity to capture the dynamic aspects of natural analogy production. Any model that doesn't take this into account will be dependent on someone (or some module) to organize the information in a suitable manner

so that a mapping can take place. So the dependence on handcoding representations has severely limited the ability of SME to capture creative analogical production in the wild. However, as SME is a model of analogy understanding, it is immune to CFH's (Chalmers, French, Hofstadter) criticisms based on creating an analogy because in understanding, the hand-codings they look for (hand-coding the representations) may be legitimate. ...

... HLP (high-level perception) seems to be after the an explanation of novel analogy production. Their explanatory task, from which their criticisms against structure-mapping are derived, are aimed at how the analogy situation is perceived, and thus, how representations are constructed in the first place. But this seems to be something that SME is not trying to do. CFH and the SME researchers are talking at cross purposes.“ [Morrison1995]

Nach Morrison und Dietrich erforschen HLP Gruppe und SME Gruppe unterschiedliche, eventuell, orthogonale Aspekte der Analogie und hoffen, dass es eine Theorie der Analogie geben wird, die beider Aspekte integriert.

3 Sprache und Analogie

Kommunikation zwischen Menschen setzt voraus, dass sie eine Menge von Konzepten gemeinsam haben. Die Sprache könnte als Ansammlung der Namen für diese gemeinsame Konzepte gesehen werden:

„Many of our categories, though by no means all, are named by words or standard phrases shared with other people.“ [Hofstadter2001]

Dabei kann nicht ein einzelnes Wort als Name für einen bestimmten Konzept dienen, sondern auch eine Gruppe von Wörtern, so genannte lexikalische Einheit. Wenn Konzepte Analogienbündel sind, dann bezeichnet eine lexikalische Einheit gleichzeitig eine ganze Menge von Analogien. Diese Analogienbündel unterscheiden sich von Person zu Person, da diese auch unterschiedliche Erfahrungen im Laufe des Lebens gemacht haben. Trotz dieser Unterschied müssen die Analogienbündel schon vieles gemeinsam haben, um Kommunikation zu ermöglichen. Es könnte sein, dass eine lexikalische Einheit das als Name für die Analogiebündel fungiert, einfach als eine weitere, zu dieser Analogienbündel gehörige Analogie behandelt wird. Wenn also jemand ein Baum beobachtet oder es sich gedanklich vorstellt, werden unter anderen Analogien auch dessen Namen, eventuell in mehreren Sprachen, aktiviert.

Wenn man ein bestimmtes Konzeptzusammenspiel einem anderen mitteilen will, kodiert man die Konzepte mit deren Namen und überträgt sie. Dabei kann die Übertragung auf unterschiedlichen Wegen erfolgen wie, zum Beispiel, schriftlich, mündlich oder irgendwie sonst. Wichtig ist, dass der Kommunikationspartner das Medium auch beherrscht. Wenn der Empfänger diese Namen wahrnimmt aktivieren sich andere Analogien aus der zugehörigen Analogienbündel und somit der entsprechender Konzept. Je ähnlicher die entsprechenden Konzepte der Kommunikationspartner sind, desto reibungsloser verläuft die Kommunikation. Im Idealfall entsteht auf beiden Seiten der Kommunikation das gleiche Spiel von Konzepten:

*„I pack my mental goods down into tight, neat bundles, I load them as carefully as I can into the metaphor truck of language, it drives from my brain to yours, and then you unpack. What a metaphor for communication! ...
... Indeed, I would describe communication this way: taking an intricate dance that can be danced in one and only one medium, and then, despite the intimacy of the marriage of that dance to that medium, making a radically new dance that is intimately married to a radically different medium, and in just the same way as the first dance was to its medium.“* [Hofstadter2001]

4 Copycat

„Copycat“ [Hofstadter1984] ist ein Modell für Analogiebildung das in Form eines Programms realisiert ist, siehe Abbildung 3. „Copycat“ operiert auf der Domain von Strings von Buchstaben und beantwortet die Fragen von der Gestalt: „*abc* bezieht sich zu *abd* wie *xyz* zu was?“

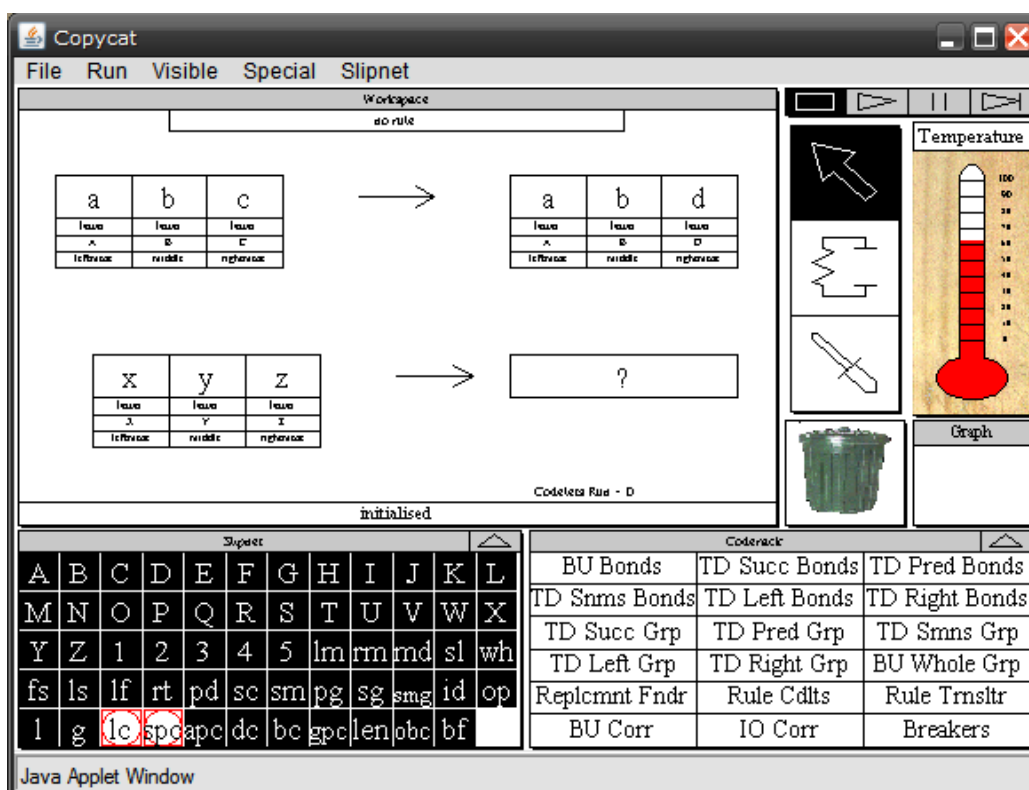


Abbildung 3: Benutzeroberfläche, Copycat, [UniQueensland2008].

Entwickler sehen der Vorteil dieses Domain darin, dass:

„This domain is simple enough that the problems of low-level perception are avoided, but complex enough that the main issues in high-level perception arise and can be studied.“ [Chalmers1991]

Copycat konstruiert seine eigene mentale Darstellung von der Struktur von Strings in der Problembeschreibung. Dabei wird das Erkennen von (weiteren) Strukturen und Beziehungen zwischen Strukturen nicht deterministisch von den schon erkannten Strukturen beeinflusst. Das Erkennen wird durch mehrere parallel laufende Prozesse gewährleistet, die unabhängig von einander lokale bereiche des Strings mit dem Ziel, Strukturen und Beziehungen zwi-

schen Strukturen zu erkennen, durchsuchen. Diese Prozesse werden *codelets* genannt. Es gibt mehrere Typen von *codelets*:

„Some codelets seek to establish relations between objects; some chunk objects that have been perceived as related into groups; some are responsible for describing objects in particular ways; some build the correspondences that determine the analogy; and there are various others. Each codelet works locally on a small part of the situation.“ [Chalmers1991]

Die *codelets* konkurrieren miteinander und es ist möglich, dass von einem *codelet* erkannte und gebildete Struktur oder Beziehung später von einem anderen *codelet* zerstört werden und an derer Stelle eine andere Struktur oder Beziehung gebildet wird. Strukturen werden anhand gemeinsamer Merkmale gebildet. Es gibt nur einige wenige Merkmale. Alles was „Copycat“ über die drei Strings, die er als Aufgabe bekommen hat, weiß ist Folgendes: jede Buchstabe ist eine Instanz von bestimmten Buchstabentyp; welche Buchstaben in dem Alphabet nebeneinander stehen und welche Buchstaben am weitesten Links, Rechts oder genau in der Mitte in den angegebenen Strings stehen. Zum Beispiel String *abccba*, ein *codelet* kann erkennen das die dritte und vierte Buchstaben zum gleichen Typ gehören und die anhand des Merkmals „Gleichheit“ verbinden, der andere *codelet* kann dann aus diesen Buchstaben durch ihre Verbundenheit anhand von einem Merkmal eine Gruppe machen: *ab[cc]ba*, siehe Abbildung 4:

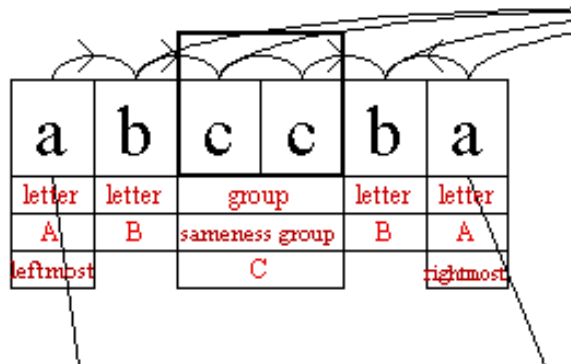


Abbildung 4: „Gleichheit“ Gruppe, Copycat, [UniQueensland2008].

Ein anderer *codelet* kann aber die ersten drei Buchstaben durch den Merkmal „Nachfolger im Alphabet“ verbinden. Der andere *codelet* würde dann versuchen aus diesen drei Buchstaben, die mit der Beziehung „Nachfolger“ verbunden sind, eine Gruppe zu machen. Er müsste allerdings warten bis ein anderes *codelet* die Zweiergruppe zerstört hat, siehe Abbildung 5:

Abhängigkeit der Wahrnehmung von dem Kontext wird mit dem Konzept-

a	b	c	c	b	a
group			letter	letter	letter
successor group			C	B	A
right					rightmost
leftmost					first

Abbildung 5: „Nachfolger“ Gruppe, Copycat, [UniQueensland2008].

netzwerk, das *slipnet* genannt wird, modelliert, siehe Abbildung 6. Konzepte, die im letter-string Domain vorkommen, zum Beispiel „Nachfolger“, sind als Knoten in slipnet dargestellt. Konzepte können aktiviert werden, und zwar zum bestimmten Grad, in der Abhängigkeit davon, wie relevant jeweilige Konzept für die aktuell gebildete Struktur ist. Bestimmte Konzepte sind miteinander verbunden. Diese Verbindungen haben Gewichte, die Intensität der Beziehung zwischen Konzepten darstellen. Konzepte die sehr nahe zueinander sind können bei Bedarf beim Mapping gleichgestellt werden. Das wird *der konzeptuelle Schlupf* genannt.

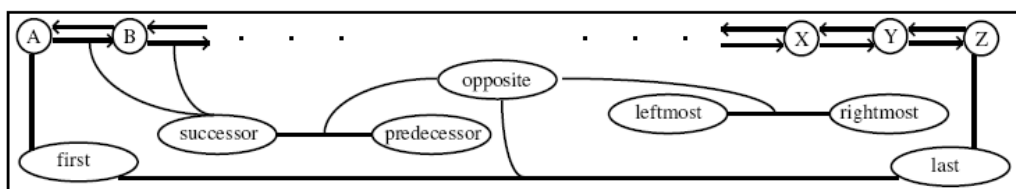


Abbildung 6: Slipnet, [Chalmers1991].

Zum Beispiel beim Mapping von *abc* auf *cba*, werden Konzepte „Nachfolger“ und „Vorgänger“ gleichgestellt. Bei der Aktivierung eines Konzeptes werden die mit ihm verbundene Konzepte mitaktiviert, aber zu einem etwas kleinerem Grad. Nachdem ein Konzept aktiviert wurde, werden einige zugehörige *codelets* erstellt und an eine Stelle gebracht, die *coderack* genannt wird, wo sie dann auf die Ausführung warten. Zum Beispiel, nach der Aktivierung des Konzeptes „Nachfolger“ werden einige *codelets* erstellt, die für die Bildung der Verbindungen anhand des Merkmales „Nachfolger“ verantwortlich sind. Das bedeutet das entsprechende Wahrnehmung Prozess, im Beispiel – Bildung der „Nachfolger“ Verknüpfungen, positive beeinflusst wird. Das heißt, die bis jetzt erkannte Struktur (aktuelle Kontext) kann den weiteren Verlauf der Wahrnehmung beeinflussen:

„The perceptual work performed by the codelets is an inherently bottom-up process, achieved by competing and cooperating agents each of which acts locally. The Slipnet, however, by modulating the action of the codelets, acts as a top-down influence on this bottom-up process. The Slipnet can thus be regarded as a dynamic controller, allowing global properties such as the activation of concepts to influence the local action of perceptual agents. This top-down influence is vitally important, as it ensures that perceptual processes do not go on independently of the system’s understanding of the global context.“ [Chalmers1991]

Zum Beispiel: in dem String *jjkk* würden im Ergebnis Gruppen von „Gleichheit“ Verbindungen mit der größeren Wahrscheinlichkeit gebildet, da es zwei davon gibt, Bildung von Gruppen aufgrund der Verbindung „Nachfolger“ ist weniger Wahrscheinlich, da es nur eine davon gibt: *j-jk-k*. Die Lage ändert sich in dem String *ijjkkkl*, wo es für „Nachfolger“ Beziehung drei mögliche Gruppen gibt *ij-jk-kl* und für „Gleichheit“ wieder nur zwei *i-jj-kk-l*.

Es gibt auch *codelets* die für die Bildung von Verknüpfungen zwischen Strings, also für das Mapping, zuständig sind. Diese *codelets* befinden sich zusammen mit anderen *codelets* im *coderack* und werden genauso wie andere *codelets* ausgeführt. Damit läuft die Bildung von mentale Darstellung, also Wahrnehmung, und Analogiebildung gleichzeitig ab:

„In the early stages of a run, perceptual codelets start to build up representations of the individual situations. After some structure has been built up, other types of codelets begin to make tentative mappings between the structures. From then on, the situation-perception and mapping processes proceed hand in hand. As more structure is built within the situations, the mapping becomes more sophisticated, and aspects of the evolving mapping in turn exert pressure on the developing perceptions of the situations.“ [Chalmers1991]

Beispiel: Beim mapping von Strings *ppqrss* auf *aamnxx*, wenn der zweite String als *aa-mn-xx* erkannt wird, wird auch das Erkennen von *ppqrss* als *pp-qr-ss* positiv beeinflusst. Beim Mapping von *ppqrss* auf *aijklx* wird das Erkennen von *aijklx* als *a-ijkl-x*, die Erkennung von *ppqrss* als *p-pqr-s* positiv beeinflussen.

*„Thus we can see that different mappings act as different contexts to evoke quite different perceptions of the same string of letters. ...
... The mapping structures can themselves be regarded as perceptual structures: the mapping is simply an understanding of the analogy as a whole“ [Chalmers1991]*

Die *codelets*, miteinander konkurrierend, erforschen viele mögliche, zum Teil inkonsistente, Wege Strings zu representieren bis sie schließlich in einer bestimmten mentale Darstellung konvergieren. Um Konvergenz des Prozesses zu sichern, wird das Mechanismus von *Berechnungstemperatur* eingeführt. Die Temperatur misst dabei das Volumen und die Qualität von aktuell gebildeten Strukturen der mentale Darstellung. Zur der Strukturen werden Verbindungen, Gruppen und Mappingbeziehungen gezählt. Qualität bezieht sich auf die Kohärenz der Teilen der Struktur zueinander. Durch *Berechnungstemperatur* wird die Rolle des Zufalls bei den lokalen Aktivitäten von *codelets* reguliert. Wird eine große Menge von der guten Struktur gebildet, sinkt die Temperatur und das System baut ziemlich deterministisch die bestehende Struktur weiter auf. Das Bilden von neuen Strukturen wird immer unwahrscheinlicher. Und umgekehrt solange die Temperatur hoch ist wird es immer wieder versucht neue Strukturen zu finden. Am Anfang der Ausführung ist die Temperatur hoch und es werden viele Möglichkeiten der Strukturbildung ausprobiert. Erweist sich kein der erprobten Strukturentwürfe als aussichtsreich, bleibt die Temperatur hoch und es werden weitere, immer seltene Strukturentwürfe untersucht. Schließlich zeigt sich ein Strukturentwurf als vielversprechend, Temperatur sinkt, und es wird immer weniger wahrscheinlich, dass bestehender Strukturentwurf von anderen Strukturentwürfen ersetzt wird, und somit immer wahrscheinlicher, dass er sich zum Ende ausgebaut wird. Dieser Prozess des Erforschen von mehreren Varianten und allmähliche Fokussierung auf einer die vielversprechender als die andere ist wurde *das parallele terrasierte Scannen* genannt (vgl. [Hofstadter1984]).

Bei der Analogiebildung wird eine Regel generiert, die Transformation von Strings in der Basisdomain erklärt. Diese Regel wird dann unter Berücksichtigung von *dem konzeptuellen Schlupf* für die Zieldomain übersetzt und angewendet.

5 Fazit

Die Sicht von Hofstadter auf Analogienbildung als untrennbares Teil von der Wahrnehmung und anderen kognitiven Prozessen, die auf der Idee beruht, dass Wahrnehmung durch die Analogienbildung unterstützt und geleitet wird und, gleichzeitig, Analogienbildung ihrerseits aus den von dem Prozess der Wahrnehmung resultierenden temporalen mentalen Darstellungen erst möglich wird, ist meiner Meinung nach plausibel. Die Plausibilität sehe ich vor allem daran, dass es viele physiologische und psychologische Parallele gebildet werden können, die man mit obere Argumentation nachvollziehen kann. Zum Beispiel: An der Stelle wo der Sehnerv aus dem Auge ausgeht, so genannte blinder Fleck, wird keine Information aus der Umwelt empfangen. Dieser blinde Fleck wird aber nicht wahrgenommen, weil das Hirn, das in den blinden Bereich fallendes Teil des Bildes anhand von Information aus dem umliegenden, wahrgenommenen Bild rekonstruiert. So wird eine relativ große Lücke in einer dicken Linie, wenn sie in den blinden Fleck fällt, nicht wahrgenommen und das Hirn füllt diesen Bereich mit dem, was „seiner Meinung nach“ dort am ehesten zu sehen wäre, er setzt die Linie fort, sodass man sieht, genauer gesagt, erkennt diese Linie als lückenlos. Das gleiche passiert mit einem schwarz gefülltem Kreis auf dem weißen Hintergrund – Kreis verschwindet und diese Stelle wird mit der Farbe des Hintergrunds gefüllt, Siehe Abbildung7.¹



Abbildung 7: Blinder Fleck, [theBrain2008].

An diesem Beispiel sieht man deutlich wie die Wahrnehmung abhängig von dem *bereits erkannten* Kontext in eine *analoge* Weise beeinflusst wird und eine mentale Darstellung liefert, die nicht unbedingt den beobachteten Phänomen eins zu eins abbildet. Wenn man annimmt, dass gleiches Mechanismus auch auf der Konzeptenebene realisiert ist, kann man mit der gleicher Argumentation auch Beispiele aus dem psychologischen Bereich erklären, wo man eher

¹ Mann muss rechtes Auge decken, auf Kreuz schauen und sich langsam dem Bild annähern.

das sieht was in dem aktuellen Kontext zu sehen wäre, oder das, für was man Konzepte schon parat hat.

Offensichtlich setzt diese Sicht auf Analogie die Existenz eines Betrachteten voraus. Das muss, meiner Meinung nach, nicht immer der Fall sein, so dass zwei Dinge auch in der Abwesenheit von jeglichem Betrachter analog sein können. Oder, zumindest, könnte man zwei Dinge als „absolut vorurteilsfreie Betrachter“ auf Analogie hin untersuchen. Was in den symbolverarbeitenden Modellen für Analogie, glaube ich, auch gemacht wird. Damit sehe ich die Kritik, die Hofstadter an solche Modelle ausübt, als nicht angebracht. Außerdem ist es bei weitem noch nicht klar, warum und wie der Mensch so leicht und flexibel mit der Sprache umgehen kann. Und vielleicht, gibt es so was wie ein symbolverarbeitendes System, irgendwo im Kopf, das mit Wörtern wie mit Symbolen operiert, die, nach Bedarf, mit vollem Sinn versehen werden können, wer weiß?

Literatur

- [Chalmers1991] D. Chalmers, R. French, and D. Hofstadter. High-level perception, representation, and analogy: A critique of artificial intelligence methodology, 1991.
- [Falkenhainer1989] Brian Falkenhainer, Kenneth D. Forbus, and Dedre Gentner. The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, 41(1):1–63, 1989.
- [Hofstadter1984] Douglas Hofstadter. The copycat project: An experiment in nondeterminism and creative analogies. Technical Report AIM-755, 1984.
- [Hofstadter2001] Douglas R. Hofstadter. *The Analogical Mind Perspectives from Cognitive Science*, chapter 15, pages 499–538. MIT Press, 2001.
- [Linhares1995] Alexandre Linhares. Fluid concepts, 1995.
- [Morrison1995] Clayton T. Morrison and Eric Dietrich. Structure-mapping vs. high-level perception: The mistaken fight over the explanation of analogy, 1995.
- [UniQueensland2008] www2.psy.uq.edu.au, January 2008.
- [theBrain2008] thebrain.mcgill.ca, January 2008.
- [wiki2008] de.wikipedia.org, January 2008.