



PsiCasso:

Ein Modell zur Simulation der Dynamik des Gefallens

Diplomarbeit

im Studiengang Psychologie

in der

Fakultät Humanwissenschaften an der

Otto-Friedrich-Universität Bamberg

(2012)

Verfasser: Mike F. Imhof

Korrektor: Prof. Dr. Claus-Christian Carbon

Zusammenfassung

Am Beispiel der Formensprache von Autokarosserien zeigt Carbon (2010), dass unser ästhetisches Empfinden zumindest teilweise von aktuellen Trends abhängt. Nach der PSI-Theorie (Dörner, 2008) hängt eine Veränderung der ästhetischen Wahrnehmung von motivationalen und emotionalen Veränderungen ab. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob sich die Dynamik des Gefallens mithilfe der motivationalen und emotionalen Mechanismen der PSI-Theorie erklären lässt. Auf Basis dieser Theorie wird ein kognitives Modell mit dem Namen *PsiCasso* entwickelt und mit einem MINERVA-2-Gedächtnismodell (Hintzman, 1984) ausgestattet. Anschließend wird das Modell in JAVA implementiert. Zur Evaluation des Modells werden PsiCasso Bilder aus zwei unterschiedlichen Kategorien (geringe und hohe Varianz in Stil und Inhalt) in wiederholter Reihenfolge präsentiert. Währenddessen wird die Entwicklung des Lustempfindens, der Aktivierung und der Bedürfnisse gemessen. Die Simulation zeigt, dass mithilfe des Modells eine Dynamik des Gefallens abgebildet werden kann. Darüber hinaus kann mithilfe des Modells nicht nur der positive Zusammenhang der Wahrnehmung einer erhöhten Verarbeitungsflüssigkeit (processing fluency) von Reizen und einer Luststeigerung erklärt werden. Es kann auch erklärt werden, warum manche Reize, die sehr vertraut sind und zunächst ein lustvolles Erleben verursachen, nach einer Zeit der Gewöhnung nicht mehr gefallen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	6
1 Dynamik des Gefallens	7
1.1 Phänomenbeschreibung	7
1.2 Theorien zur ästhetischen Urteilsbildung	8
1.2.1 Etwas, was flüssig verarbeitet wird, ist schön	9
1.2.2 New experimental aesthetics	12
1.2.3 Das Modell der ästhetischen Erfahrung	14
1.2.4 Dinge, die Bedürfnisse befriedigen, sind schön.....	16
1.2.5 Zusammenfassung	17
1.2.6 Integration der Theorien zur Erklärung der Dynamik des Gefallens	20
2 Kognitive Modellierung.....	23
2.1 Was ist kognitive Modellierung?	23
2.2 Kognitive Architekturen	26
2.2.1 Klassen von kognitiven Architekturen	27
2.2.2 Ein Überblick existierender Architekturen.....	28
2.2.3 Zusammenfassung	34
2.3 Zukünftige Herausforderungen	34
2.4 Ansatz zur Modellierung der Dynamik des Gefallens	35
3 Ziel der vorliegenden Arbeit.....	37
4 Konzeption der kognitiven Architektur PsiCasso	38
4.1 Grundprinzip der psychischen Organisation	40
4.2 Motivation und Emotion	42
4.2.1 Bedürfnisse und Bedarf	42
4.2.2 Bestimmtheit.....	44
4.2.3 Kompetenz	44
4.2.4 Das Lust-Unlustsystem	45
4.2.5 Motivator.....	46
4.2.6 Emotionen als Verhaltensmodulation.....	46
4.3 Gedächtnis.....	49
4.3.1 MINERVA-2	49
4.4 Hypothesengesteuerte Wahrnehmung	53

4.5	Integration von MINERVA-2 und PSI	55
4.5.1	Motivationale Repräsentation in MINERVA-2.....	55
4.5.2	Emotionale Einflüsse auf Gedächtnisoperationen	56
5	Implementierung eines Prototyps von PsiCasso	57
5.1	Die Softwarearchitektur von PsiCasso.....	59
5.1.1	Das Paket motivation	59
5.1.2	Das Paket memory	61
5.1.3	Das Paket perception.....	62
5.1.4	Das Paket emotion	63
5.1.5	Das Paket simulation	64
6	Evaluation	65
6.1	Stimuli.....	65
6.2	Prozedur	65
6.3	Ergebnisse und Diskussion.....	66
7	Abschließende Diskussion und Ausblick	72
8	Literaturverzeichnis	77
	Anhang	80
	Erklärung.....	81

Einleitung

Die Entstehung von immer neuen Trends in Kunst, Musik und Literatur zeigt, dass sich die ästhetische Wahrnehmung des Menschen ständig verändert. Was zu früheren Zeiten angesagt war oder als schön empfunden wurde, findet heute kein vergleichsweise großes Gefallen mehr. Wie kommt es dazu, dass sich unsere ästhetische Wahrnehmung verändert? Auf welchen Mechanismen basiert diese Veränderung in der ästhetischen Urteilsbildung? Nach dem Konzept der Verarbeitungsflüssigkeit (Winkielman et al., 2003) sind Reize schön, die schnell verarbeitet werden können. Das Konzept kann zwar erklären, warum wir Dinge, denen wir oft begegnen, irgendwann schön finden. Man kann mit dem Konzept jedoch nicht erklären, weshalb sehr vertraute Dinge mit der Zeit nicht mehr gefallen. Warum gefällt uns die Mode aus den 90er Jahren nicht mehr, obwohl sie uns einmal sehr vertraut war? Warum finden wir die Architektur aus den 70er Jahren nicht schön, obwohl wir jeden Tag an ihr vorbeilaufen?

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Frage nach den Mechanismen der Dynamik des Gefallens. Um etwas über die Mechanismen des Phänomens herauszufinden, wird das Phänomen mithilfe eines allgemeinspsychologischen Modells simuliert. Simulationen bestehen darin, Experimente mit virtuellen Systemen bzw. Modellen durchzuführen, welche dem realen System im Hinblick auf bestimmte Merkmale zumindest teilweise gleichen. Dadurch ist es möglich, Erkenntnisse über die realen Mechanismen zu gewinnen.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit werden zunächst Theorien über die Mechanismen der ästhetischen Wahrnehmung vorgestellt, um einen Erklärungsansatz für die Dynamik des Gefallens zu finden. Daraufhin werden Ansätze zur kognitiven Modellierung vorgestellt und es wird diskutiert, inwiefern sie zur Simulation ästhetischer Wahrnehmungsprozesse geeignet sein könnten. Im praktischen Teil werden Annahmen der PSI-Theorie und des Gedächtnismodells MINERVA-2 verwendet, um eine kognitive Architektur zu konzipieren. Anschließend wird das Konzept in ein programmiertes ComputermodeLL umgesetzt und zur Simulation der Dynamik des Gefallens verwendet.

1 Dynamik des Gefallens

In diesem Kapitel wird zunächst das Phänomen der Dynamik des Gefallens beschrieben. Anschließend werden Theorien zur Erklärung der ästhetischen Urteilsbildung vorgestellt. Schließlich folgt ein erster Versuch, mithilfe dieser Theorien das vorgestellte Phänomen zu erklären.

1.1 Phänomenbeschreibung

Im Bereich der Autodesigns findet Carbon (2010) einen Beleg dafür, dass es eine Dynamik des Gefallens gibt. Am Beispiel der sogenannten Formensprache von Autokarosserien zeigt er, dass unser ästhetisches Empfinden zumindest teilweise vom Zeitgeist und aktuellen Trends abhängt. Um herauszufinden, welche Variablen Einfluss auf das Gefallen von Autodesigns haben, präsentiert Carbon (2010) in einer Reihe von Experimenten Probanden Bilder von Autokarosserien aus einer Zeitspanne von 1950 bis 1999 und fragt sie nach möglichen Schlüsselvariablen für das Gefallen, wie z. B. Kurvigkeit, Komplexität, Qualität, Innovativität und Sicherheit. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich das Ausmaß der Kurvigkeit im Design der Autokarosserien in der Zeit von den 50er Jahren bis heute stark verändert hat. Wie man an einem Beispiel in Abbildung 1.1 erkennen kann, erreicht das Ausmaß der Kurvigkeit in den 50er und 60er Jahren seinen Höhepunkt (z. B. VW Käfer; Abbildung 1.1) und nimmt danach im Laufe der Zeit stark ab. Als Folge werden die Karosseriedesigns von unterschiedlichen Marken zunehmend kantiger (z. B. VW Golf I; Abbildung 1.1) – bis sie in den 70er und 80er Jahren ein Minimum an Kurvigkeit erreichen. Anschließend nimmt das Ausmaß der Kurvigkeit bis zum heutigen Zeitpunkt wieder stark zu und hat mittlerweile wieder einen ähnlichen Stand wie in den 50er Jahren (z. B. VW Golf V; Abbildung 1.1).

Darüber hinaus findet Carbon (2010) im ersten Experiment der Versuchsreihe heraus, dass die Versuchsteilnehmer (von heute) generell Designs aus den 50er und 90er Jahren bevorzugen, während ihnen die Designs aus den 70er und 80er Jahren nicht gefallen. Das lässt darauf schließen, dass Gefallensurteile eng mit der Kurvigkeit der Objekte zusammenhängen. Dagegen zeigt sich bei Probanden, die im dritten Experiment an hoch innovative und futuristische Autodesigns adaptiert werden, jedoch ein anderes Bewertungsmuster: Sie bewerten Karosserieformen aus den letzten 15 Jahren weniger innovativ und gleichzeitig fallen ihre Gefallensurteile signifikant schlechter aus. Auch hier besteht ein enger Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Gefallen. Zudem zeigt sich bei Versuchsteilnehmern, die im vierten Experiment an historische Autodesigns adaptiert werden,

dass die Kurvigkeit nicht mehr der wichtigste Prädiktor für Gefallen ist. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass Kurvigkeit nur unter bestimmten Bedingungen mit ästhetischen Vorlieben (Englisch: *aesthetic preferences*) zusammenhängt. Aus der Kontrollstudie, bei der die Produktionszahlen von sechs verschiedenen Automarken untersucht werden, geht desweiteren hervor, dass kantige Designs nicht notwendigerweise zu einem Missfallen der Produkte führen. Insgesamt sind diese Ergebnisse ein Hinweis für die Annahme, dass jede „Epoche“ seine Modeerscheinungen bzw. seinen Zeitgeist hat. Man kann also aus den Studien schließen, dass sich unser ästhetisches Empfinden im Laufe der Zeit dynamisch verändert.

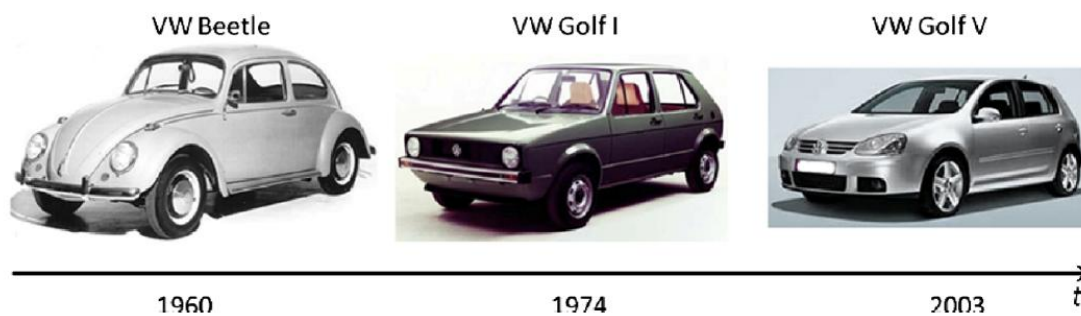


Abbildung 1.1. Veränderung der Kurvigkeit von Autos der Marke Volkswagen im Laufe der Zeit (Carbon 2010, S. 243)

Demgegenüber steht eine eher evolutionspsychologische Auffassung von Bar und Neta (2006), die behaupten, dass Menschen generell Objekte mit runden bzw. kurvigen Konturen bevorzugen, weil scharfe Konturen mit Gefahr und Bedrohung assoziiert werden.

1.2 Theorien zur ästhetischen Urteilsbildung

Auch in anderen Bereichen, wie z. B. der Mode oder der Architektur lassen sich viele weitere Beispiele finden, die zeigen, dass Trends nicht von Dauer sind. Warum ist das so? Welche Mechanismen sind dafür verantwortlich? Um eine Antwort auf diese Fragen zu finden, sind zunächst Theorien wichtig, die erklären, wie sich ein ästhetisches Urteil bildet. Im Folgenden werden daher Theorien und Modelle zur ästhetischen Urteilsbildung überblicksartig dargestellt und anschließend geprüft, inwieweit sie dieses Phänomen erklären können.

1.2.1 Etwas, was flüssig verarbeitet wird, ist schön

Carbon (2010) vermutet, dass Adaptation und der Mere-Exposure-Effekt¹ (Zajonc, 1968) eine wichtige Rolle bei der Entwicklung einer Dynamik des Gefallens spielen. Doch warum finden wir Dinge, denen wir öfter begegnen irgendwann schön – so wie man es am Mere-Exposure-Effekt sehen kann? Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt ist eine erhöhte Verarbeitungsflüssigkeit (Englisch: Processing Fluency, oder auch: Fluency; zum Beispiel Belke et al., 2010; Winkielman et al., 2003). Die Verarbeitungsflüssigkeit charakterisiert die mentale Verarbeitung von Reizen und bezeichnet die Leichtigkeit, mit der neue, externe Informationen verarbeitet werden. Sie bestimmt das Maß des kognitiven Aufwands, der für die Verarbeitung notwendig ist und wie schnell und akkurat demnach ein Stimulus verarbeitet werden kann (Schwarz & Clore, 2006).

Nach Reber, Schwarz und Winkielmann (2004) steigt die Verarbeitungsflüssigkeit mit der Häufigkeit der Verarbeitung eines bestimmten Reizes; d. h. je öfter man einem bestimmten Objekt begegnet, desto schneller, leichter und effizienter wird die Verarbeitung dieses Reizes. Darüber hinaus geht mit erhöhter Verarbeitungsflüssigkeit ein positiver Affekt einher, was zu einer positiveren Bewertung des häufig verarbeiteten Stimulus führt (Bornstein, 1989; Fang et al., 2007): „The more fluently perceivers can process an object, the more positive their aesthetic pleasure“ (Reber et al. 2004, S. 364). Im Folgenden werden Modelle vorgestellt, die den Effekt erklären sollen.

Das Hedonic Fluency Modell

Das Hedonic Fluency Modell (Winkielman et al., 2003) bietet eine mögliche Erklärung, warum flüssig verarbeitete Stimuli positiver bewertet werden als solche, die weniger flüssig verarbeitet werden. Das Modell beruht auf der grundlegenden Annahme, dass ästhetisches Erleben eine Funktion der Verarbeitungsprozesse des Betrachters darstellt. Die Autoren vermuten, dass die Verarbeitungsflüssigkeit selbst mit lustvollem Erleben verbunden ist und unbewusst als Informationsquelle herangezogen wird, um ästhetische Bewertungen hinsichtlich unterschiedlicher Reize vorzunehmen. Demnach wird eine hohe Verarbeitungsflüssigkeit als affektiv positiv erlebt, weil sie schlicht und einfach mit einem positiven Affekt verknüpft ist (Fluency-Affect Link; Winkielman et al., 2003).

¹ Der Mere-Exposure-Effekt besagt, dass allein durch die mehrfache Darbietung eines Reizes die Einstellung eines Menschen gegenüber diesem Reiz positiv beeinflusst wird. Voraussetzung ist jedoch, dass der Reiz bei der ersten Darbietung nicht negativ bewertet wird. Andernfalls wird die Einstellung zu dem Reiz durch wiederholte Darbietung negativ beeinflusst.

Winkielman et al. (2003) finden mehrere Begründungen, warum mit hoher Verarbeitungsflüssigkeit ein positiver Affekt einhergehen könnte. Zum einen gibt es den Beleg, dass Verarbeitungsflüssigkeit ein Hinweis auf die Vertrautheit eines Stimulus ist. Je flüssiger ein Reiz wahrgenommen wird, desto höher wird seine Vertrautheit eingeschätzt (Whittlesea, 1993). Die Verbindung zwischen einem positiven Affekt und dem Gefühl von Vertrautheit könnte nach der Auffassung von Zajonc (1998) in einer biologischen Prädisposition begründet sein. Diese Prädisposition, die für ein Gefühl von Vertrautheit bei bekannten Objekten sorgt, löst wiederum bei Begegnungen mit neuen Objekten ein vorsichtiges Verhalten aus, da unbekannte Gegenstände möglicherweise eine Gefahr darstellen.

Darüber hinaus gibt es einen Zusammenhang zwischen einem positiven Affekt und der Prototypikalität von Reizen. Winkielman et al. (2003) belegen mit mehreren Experimenten nachweisen, dass prototypische Reize flüssiger verarbeitet werden können. Ein Grund für den Zusammenhang von einem positiven Affekt und einer hohen Verarbeitungsflüssigkeit könnte also darin liegen, dass Prototypikalität mit Vertrautheit zusammenhängt. Ein Stimulus ist nämlich dann prototypisch für eine Klasse, wenn er eine allgemeine Ähnlichkeit zu anderen schon bekannten – und damit auch vertrauten – Stimuli aus der Klasse besitzt.

Zuletzt könnte eine erhöhte Verarbeitungsflüssigkeit eine positiv affektive Reaktion hervorrufen, weil sie Informationen über laufende kognitive Operationen liefert (Winkielman et al., 2003). Ein hoher Grad an Verarbeitungsflüssigkeit könnte ein Hinweis für die erfolgreiche Erkennung und Interpretation eines Zielreizes sein, während ein geringer Grad ein Zeichen für Schwierigkeiten in der Informationsverarbeitung darstellt.

Die Autoren fassen zusammen, dass hohe Verarbeitungsflüssigkeit generell lustvoll erlebt wird und etwas über positive und negative Zustände – entweder in der Umgebung oder innerhalb des kognitiven Systems – aussagt. Allgemein ist hohe Verarbeitungsflüssigkeit ein Zeichen für einen positiven Zustand, während geringe Verarbeitungsflüssigkeit ein Hinweis darauf gibt, dass möglicherweise etwas nicht in Ordnung ist.

Die Two-Step Modelle

Da die Two-Step Modelle ursprünglich für die Erklärung des Mere-Exposure-Effekts (Zajonc, 1968) und den Preference-Without-Recognition-Effekt (Kunst-Wilson & Zajonc, 1980) entwickelt wurden, eignen sie sich am besten zur Erklärung der Wirkung von Verarbeitungsflüssigkeit, die durch wiederholte Darbietung von Reizen erzeugt wird. Es gibt

eine Reihe von Two-Step Modellen, die prinzipiell gemeinsame Grundannahmen haben (Winkielman et al., 2003).

Eine Grundannahme dieser Modelle ist, dass Bewertungen von Reizen in einem zweistufigen Prozess ablaufen. Wird die Verarbeitungsflüssigkeit manipuliert, findet im ersten Schritt eine veränderte kognitive Wahrnehmung statt, die zunächst affektiv neutral ist und auch sonst keine direkte Auswirkung auf den Affekt des Betrachters hat. Die veränderte Wahrnehmung erklärt sich der Betrachter in einem zweiten Schritt, indem er sie relevanten Merkmalen des Reizes zuschreibt. Zusammen mit dem situativen Kontext bilden die Stimulusmerkmale die Grundlage für die Beurteilung des Stimulus. Je nach Situation führt die veränderte Verarbeitungsflüssigkeit zu unterschiedlich veränderten affektiven und nicht-affektiven Bewertungen.

Ein Beispiel für die Two-Step Modelle ist das Nonspecific Activation Modell von Mandler, Nakamura und Van Zandt (1987). Nach diesem Modell ruft eine Veränderung der Verarbeitungsflüssigkeit (z. B. durch Priming²) eine bessere Zugänglichkeit der aktivierten Stimulusrepräsentationen hervor. Die verbesserte Zugänglichkeit ermöglicht eine erhöhte Aktivierung der Repräsentationen, die dazu führt, dass die Person den Reiz – abhängig von den jeweiligen Bewertungskriterien – extremer beurteilt als mit geringerer Aktivierung. Mandler et al. (1987) konnten in einem Experiment nachweisen, dass Probanden bei erhöhter Verarbeitungsflüssigkeit, je nach Fragestellung, den Stimulus heller bzw. dunkler einschätzen.

Das Fluency Attribution Modell (Jacoby et al., 1989) gehört ebenfalls zu den Two-Step Modellen und basiert größtenteils auf dem Nonspecific Activation Modell. Nach diesem Modell führt eine Veränderung der Verarbeitungsflüssigkeit zunächst zu einem affektiv neutralen Erleben von Verarbeitungsflüssigkeit und daraufhin zu intensiveren Bewertungen des Reizes auf Dimensionen, die – je nach situativem Kontext – relevant erscheinen. Nur wenn keine alternativen Möglichkeiten der Attribution zur Verfügung stehen, wird die Erleichterung der Reizverarbeitung auf Gefallen oder Vertrautheit attribuiert.

Die beiden beschriebenen Two-Step-Modelle – das Fluency Attribution Modell (Jacoby et al., 1989) und das Nonspecific Activation Modell (Mandler et al., 1987) – unterscheiden sich darin, welche Informationen bei Bewertungsaufgaben als relevant für die Beurteilung eines Reizes angesehen werden. Mandler et al. (1987) sehen den Einfluss bei den Antwortmöglichkeiten der Bewertungsaufgabe, was sich folgendermaßen äußert: Wird nach

² Beeinflussung der Stimulusverarbeitung dadurch, dass eine vorangegangene Reizdarbietung implizite Gedächtnisinhalte aktiviert hat.

der Helligkeit eines Reizes gefragt, schätzt der Betrachter den vorgegebenen Stimulus automatisch heller ein. Jacoby et al. (1989) behaupten dagegen, dass der generelle Aufgabenkontext ausschlaggebend für die Bewertung ist. Ihrer Ansicht nach hat die Fragestellung keinen direkten Einfluss auf die Urteilsfindung, solange der Kontext (z. B. Einschätzung von Gefallen oder Aufgabenschwierigkeit) gleich bleibt.

1.2.2 New experimental aesthetics

Der Ansatz *new experimental aesthetics* stellt ein theoriegeleitetes Forschungsprogramm von Berlyne (1974b) zur Untersuchung der ästhetischen Wahrnehmung dar. Neu an diesem Ansatz war die Betrachtung des ästhetischen Verhaltens als eine Form des Explorationsverhaltens. So bekommt die vor allem im klassischen Behaviorismus angenommene Zweckfreiheit ästhetischen Verhaltens eine motivationspsychologische Fundierung.

Max Kobbert (1986) hat die Formel aufgestellt, nach der ästhetische Erlebnisse, Zustände oder Urteile (AE) als Funktion von Objekteigenschaften (M_O), Betrachtereigenschaften (M_B) und/oder gleichzeitigen oder vorangegangenen Rahmenbedingungen (M_R) beschrieben werden:

$$AE = f(M_O, M_B, M_R)$$

Ausgehend von dieser Formel sind drei Extrempositionen möglich (Allesch, 2006):

- Die „Objektästhetik“: Ästhetische Urteile sind ausschließlich auf Objekteigenschaften zurückzuführen.
- Persönlicher Geschmack bestimmt das Gefallen: Ästhetische Urteile werden allein durch die persönlichen Eigenschaften des Betrachters beeinflusst.
- Ästhetik ist allein durch Konventionen oder Moden bestimmt: Ästhetische Urteile orientieren sich an den Rahmenbedingungen.

Die *new experimental aesthetics* (Berlyne, 1974b) gehen von dem ersten Punkt der Gleichung aus. Berlynes Ansatz nimmt grundlegend an, dass ästhetische Erfahrungen ausschließlich durch die Eigenschaften des Objekts bestimmt werden und „Reaktionen“ auf eine bestimmte Reizstruktur“ (Allesch, 2006) sind.

Im Kern seiner Theorie steht die Annahme, dass menschliches Verhalten im Allgemeinen und das ästhetische Verhalten im Speziellen aus basalen Bedürfnissen ableitbar ist (Berlyne, 1974a). Weiter vertritt Berlyne die Auffassung, dass sich in der Evolution

selektiv eine Verhaltensbereitschaft entwickelt hat, auf Neuartigkeit (novelty) in einer Situation mit Neugier (curiosity) und spezifischer Aufmerksamkeitszuwendung zu reagieren. Aus diesem evolutionären Ergebnis hat sich seiner Meinung nach z. B. auch das Spielverhalten entwickelt, das dazu dienen soll, Denken und Wahrnehmung „in Abwesenheit von offensichtlichen Motivationsquellen [...] aktiv zu erhalten“ (Berlyne, 1974a, S. 25). Demnach haben Organismen also eine Tendenz entwickelt, sich ein optimales Erregungsniveau zu verschaffen, indem sie neue Reizstrukturen explorieren. Berlynes Ziel ist es in diesem Zusammenhang gewesen, auf empirischem Weg herauszufinden, welche Reizeigenschaften in welchem Ausmaß eine solche Erregung erzeugen.

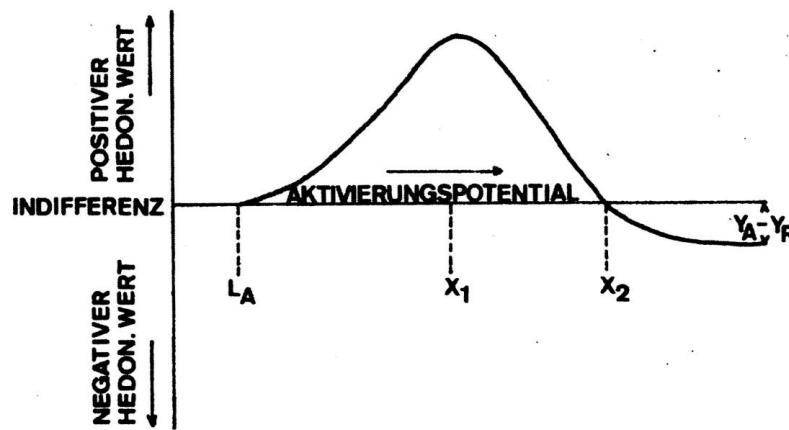


Abbildung 1.2. Deutsche Version von Raab (1976, S. 45, zitiert nach Allesch, 2006); englische Originalversion von Berlyne (1971)

Aus den Ergebnissen seiner empirischen Untersuchungen kommt Berlyne zu der Ansicht, dass „kollative Reizeigenschaften“ existieren, wie z. B. Komplexität, Neuheit oder Ambiguität. Diese Faktoren lösen zusammen mit dem Faktor Reizintensität und bestimmten ökologischen Hinweisfunktionen „einen Erregungszustand aus, der zunächst zunehmend lustvoll, nach Überschreiten eines Maximums aber immer weniger positiv und schließlich negativ im Sinne von Unlust empfunden wird“ (Abbildung 1.2; Allesch, 2006).

Berlyne (1974b) konnte tatsächlich diese Abhängigkeitsbeziehung empirisch nachweisen. Dennoch wirft Allesch (2006, S. 78) die Frage auf, ob „die Reduktion des Ästhetischen auf einen (lediglich durch Objektmerkmale definierten) Spezialfall des Lusterlebens überhaupt etwas über das Ästhetische aussagt“. Auch Kreidler und Kreidler (1980, S. 25) zweifeln, ob Berlynes Theorie „die Kunst vom Humor, dem Spiel und der Wissenschaft zu unterscheiden vermag“. Eine weitere bedeutende Kritik zeigt Erich Raab (1982, S. 50-51) auf. Er kritisiert, dass die ästhetische Wahrnehmung von Berlyne als ein rein passiv-rezeptiver Vorgang angesehen werde.

1.2.3 Das Modell der ästhetischen Erfahrung

Einen Ordnungsrahmen für eine Integration unterschiedlicher Theorieansätze bieten Leder, Belke, Oeberst und Augustin (2004) mit dem Modell der ästhetischen Erfahrung. Nach den Autoren stellt das Betrachten eines Kunstwerks eine Herausforderung dar, in der das Kunstwerk von der wahrnehmenden Person erfolgreich klassifiziert, verstanden und kognitiv bewältigt werden muss. In diesem Zusammenhang ist die ästhetische Erfahrung ein kognitiver Prozess, der von affektiven Zuständen begleitet wird und aus dem sich eine (ästhetische) Emotion ergibt (Leder et al., 2004, S. 493). Um zu erklären, wie eine ästhetische Erfahrung entsteht, schlagen die Autoren das oben genannte Modell vor, das die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung sowie eine emotionale Bewertung in fünf Stufen beschreibt (Allesch, 2006).

Das Modell ist hierarchisch aufgebaut, wobei es auch möglich ist, dass frühere Stufen zu einem späteren Zeitpunkt über Rückkopplungsprozesse nochmals durchlaufen werden. Zudem schließt das Modell parallel ablaufende Prozesse mit ein. Bevor ein Reiz die verschiedenen Stufen der kognitiven Analyse durchläuft, wird er zunächst – beeinflusst von dem Wahrnehmungskontext (z. B. Museum, Galerie oder psychologisches Experiment) – vorläufig klassifiziert (pre-classification; Abbildung 1.3), was Auswirkungen auf die Wahrnehmung des Objekts und den emotionalen Zustand des Betrachters hat. Entscheidend für den Wahrnehmungsvorgang ist zudem dessen affektiver Ausgangszustand. So bewerten z. B. Individuen in einem positiven emotionalen Zustand ästhetische Objekte positiver als in einer negativen Stimmung (Leder et al., 2004).

Die erste Stufe besteht in der perzeptuellen Analyse (perceptual analysis; Abbildung 1.3), bei der Merkmale des zu verarbeitenden Reizes wie z. B. Komplexität, Symmetrie, Kontrast, gestaltpsychologische Ordnungsfaktoren und Gruppierungseffekte erfasst werden. Die Verarbeitung dieser Merkmale erfolgt schnell und ohne großen Aufwand. Auf der zweiten Stufe findet ein impliziter Gedächtnisabgleich statt (implicit memory integration; Abbildung 1.3), bei dem z. B. Aspekte der Vertrautheit und Prototypikalität erfasst werden. Es handelt sich um einen impliziten Vorgang, da die Integration der genannten Aspekte nach den Autoren nicht notwendigerweise bewusst ablaufen muss. Hier wird zum ersten Mal deutlich, dass vorangegangene Erfahrungen auf den ästhetischen Bewertungsvorgang Einfluss nehmen. Eine weitere Stufe kommt ins Spiel, wenn der Reiz konkret auf einer bewussten Ebene klassifiziert (explicit classification; Abbildung 1.3) wird. Hauptkriterien, die bei der von Vorwissen abhängigen Klassifizierung herangezogen werden, sind Stil und Inhalt (des Kunstwerks). Auf der vierten Stufe geht es um die kognitive Bewältigung (cognitive

ineinandergreifen. Fraglich ist auch, ob die emotionale Reaktion unabhängig von dem ästhetischen Urteil ist, wie es von dem Modell angenommen wird.

1.2.4 Dinge, die Bedürfnisse befriedigen, sind schön

Die ästhetische Urteilsbildung kann man auch mit der PSI-Theorie (Dörner et al., 1998; Dörner et al., 2002; Dörner, 2008) beschreiben und erklären. Sie ist eine allgemeine und umfassende Theorie, welche versucht, die Bereiche Kognition, Emotion und Motivation miteinander zu verknüpfen. Dörners Auffassung nach, ist eine „psychologische Theorie, die ‚Kognition‘ nicht mit ‚Emotion‘ und ‚Motivation‘ zusammenbringt, [...] unvollständig“ (Dörner et al., 2002, S. 13), weshalb er mit seiner Theorie versucht, einen möglichst allgemeinen und integrativen Ansatz zu schaffen. Ähnlich wie Berlyne geht Dörner (2008) davon aus, dass menschliches Verhalten von basalen Bedürfnissen bestimmt wird. Nach Dörner geben Bedürfnisse dem Handeln ein Ziel – also eine Motivation – ohne die Handeln keinen Sinn machen würde. An einer anderen Stelle in dieser Arbeit soll noch genauer auf die PSI-Theorie eingegangen werden. Hier ist zunächst die Erklärung der ästhetischen Wahrnehmung wichtig.

Dörners Bedürfnismodell beruht auf der Bedürfnishierarchie von Maslow (1954). Auch hinter einer ästhetischen Empfindung stecken nach Dörners Ansicht leicht identifizierbare Motive, die wir bei einem akuten Bedürfnis anstreben. Er stellt zwei Faktoren heraus, die bei der Bedürfnisbefriedigung durch die ästhetische Erfahrung wichtig sind. In Anlehnung an die Vorschule der Ästhetik von Gustav Theodor Fechner (1876) unterscheidet er zwischen einem assoziativen und einem direkten Faktor (Dörner, 2008). Nach dieser Vorstellung wirkt beispielsweise ein nackter Frauen- oder Männerkörper auf den Betrachter ästhetisch, weil er von diesem mit dem Sexualakt und damit der Befriedigung des sexuellen Bedürfnisses assoziiert wird. Genauso findet der Betrachter vielleicht ein Bild von einem gedeckten Tisch ästhetisch, weil er möglicherweise ein Motiv zur Befriedigung des Hungerbedürfnisses darstellt (assoziativer Faktor). Ein unbedeckter menschlicher Körper muss den Betrachter aber nicht unbedingt nur an Sexualität erinnern und durch die Assoziation der Bedürfnisbefriedigung ästhetisch sein. Er kann auch eine für den Betrachter interessante Form haben, wie z. B. eine bestimmte „Geometrie“, die durch die Entschlüsselung von komplizierten Symmetrien ästhetisch wirkt (direkter Faktor). Diese direkte Bedürfnisbefriedigung löst durch eine Unbestimmtheitsreduktion beim Enträtseln während der Betrachtung sogenannte Lustsignale (Dörner et al., 2002) aus. Die beschriebenen

Faktoren (assoziativ und direkt) müssen aber nicht unbedingt getrennt voneinander auftreten. Nach Dörner ist es vielmehr ein Zusammenspiel beider Faktoren, das die ästhetische Empfindung bestimmt (Dörner, 2008).

Darüber hinaus ist nach Dörners Ansicht die Art und Weise, wie der Prozess der Entschlüsselung abläuft, wichtig. Er nimmt an, etwas sei schön, wenn die Unbestimmtheit nach und nach gegen einen gewissen Widerstand reduziert wird:

Das Objekt darf sich nicht sofort erschließen, sondern man muss erst ein wenig hilflos vor einem Chaos stehen. Man wendet sich diesem Chaos zu, interpretiert, überlegt, zieht Verbindungen, kurz: Man versucht, Zusammenhänge zwischen den Bestandteilen der Reizkonfiguration zu finden [...] Wenn dies gelingt, stellt sich in dem Moment, da das Bedürfnis nach Bestimmtheit schwindet, Befriedigung ein. – Gelingt es zu schnell, dann ist die Sache „langweilig“, gelingt es gar nicht, ist sie eben ein disharmonisches Durcheinander und in beiden Fällen nicht schön. (Dörner, 2008, S. 376)

Im Kern seiner Theorie steht also die Bedürfnisbefriedigung, wobei assoziative und direkte Faktoren eine Rolle spielen. Während der assoziativen Bedürfnisbefriedigung erinnert oder antizipiert der Betrachter die Befriedigung von Bedürfnissen. Die direkte Bedürfnisbefriedigung findet durch eine Art Problemlöseprozess statt, indem das Objekt der Betrachtung gegen einen Widerstand nach und nach entschlüsselt wird.

Insgesamt bietet die Theorie einen guten Ansatz zur Erklärung der ästhetischen Wahrnehmung, solange man sich mit den Begriffsdefinitionen von Dörner (2008) zufrieden gibt. Fraglich bleibt jedoch, ob sich ein ästhetisches Urteil, das in seinem Wesen sehr komplex und vielschichtig sein kann, tatsächlich durch ein einfaches Lustsignal definieren lässt. Darüber hinaus kann man kritisieren, dass Betrachtung von Objekten auf einen Problemlöseprozess reduziert wird. Dies wirft beispielsweise die Frage auf, ob das Modell die Kunstbetrachtung von dem Lösen eines Kreuzworträtsels unterscheiden kann.

1.2.5 Zusammenfassung

Da die beschriebenen Mechanismen zur Entstehung einer ästhetischen Erfahrung für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung sind, werden die wichtigsten Mechanismen zur Übersicht und einer kurzen Wiederholung in Tabelle 1.1 noch einmal zusammenfassend dargestellt. Darüber hinaus werden die Mechanismen bewertet.

Tabelle 1.1. Zusammenfassung und Kritik der Mechanismen der vorgestellten Theorien zur ästhetischen Urteilsbildung

Theorie/Konstrukt	Mechanismen der „ästhetischen Erfahrung“	Bewertung
Verarbeitungsflüssigkeit (zum Beispiel: Belke et al., 2010; Winkielman et al., 2003)	<p>“The more fluently perceivers can process an object, the more positive their aesthetic pleasure“ (Reber et al., 2004, S. 364).</p> <p>Hedonic Fluency Modell (Winkielman et al., 2003):</p> <p>Fluency-Affect-Link: Verarbeitungsflüssigkeit wird unbewusst als Informationsquelle herangezogen, um ästhetische Bewertungen hinsichtlich unterschiedlicher Reize vorzunehmen.</p> <p>Two-Step Modelle (Winkielman et al., 2003):</p> <p>Bei Veränderung der Verarbeitungsflüssigkeit erfolgt eine Bewertung in einem zweistufigen kognitiven Prozess:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veränderte Wahrnehmung (affektiv neutral). • Beurteilung des Stimulus, wofür Stimulusmerkmale zusammen mit dem situativen Kontext die Grundlage bilden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Two-Step Modelle sind aufgrund der teilweise empirisch schlechten Belegung nur wenig akzeptiert. • Das Hedonic Fluency Modell gilt mit Einschränkungen als empirisch gut belegt. • Ein Problem beim Hedonic Fluency Modell ist, dass die Verarbeitungsflüssigkeit als Informationsquelle dient. • Verarbeitungsflüssigkeit ist mehr eine Beschreibung als ein Mechanismus.
New experimental aesthetics (Berlyne, 1974b)	<ul style="list-style-type: none"> • Ästhetisches Verhalten ist bestimmt durch basale Bedürfnisse. • Menschen haben die Motivation, ein Aktivierungspotential aufrechtzuerhalten. • Kollative Reizeigenschaften (Komplexität, Neuheit, Ambiguität etc.) lösen zusammen mit dem Faktor 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Ästhetische wird auf einen „(lediglich durch Objektmerkmale definierten) Spezialfall des Lusterlebens“ reduziert (Allesch, 2006, S. 78). • Kreidler und Kreidler (1980) bezweifeln, ob Berlynes Theorie „die Kunst vom Humor, dem Spiel und der Wissenschaft zu unterscheiden vermag“.

	Reizintensität und ökologischen Hinweisfunktionen einen Erregungszustand aus, der lustvoll ist.	<ul style="list-style-type: none"> • Es handelt sich um einen rein passiv-rezeptiven Vorgang. • Reizeigenschaften sind empirisch gut belegt.
Modell der ästhetischen Erfahrung (Leder et al., 2004)	<ul style="list-style-type: none"> • Das Betrachten eines Kunstwerks stellt eine Herausforderung dar, in der das Kunstwerk erfolgreich klassifiziert, verstanden und kognitiv bewältigt werden muss. • Eine ästhetische Erfahrung ergibt sich aus dem Durchlaufen eines fünfstufigen Prozesses der perzeptuellen und kognitiven Verarbeitung sowie einer emotionalen Bewertung. • Der Prozess liefert als Produkt ein ästhetisches Urteil und als Nebenprodukt eine ästhetische Emotion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Modell bildet einen „systematischen Ordnungsrahmen“ (Allesch, 2006). • Es beschränkt sich jedoch auf visuelle, kunstspezifische Reize. • Unterteilung in automatische und bewusste Verarbeitungsschritte scheint willkürlich zu sein. • Unklar bleibt, wie die Verarbeitungsschritte genau ineinandergreifen. • Emotionaler Zustand wird als unabhängig von dem ästhetischen Urteil angesehen.
PSI-Theorie (Dörner, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Ästhetische Wahrnehmung ist bestimmt durch Bedürfnisse. • Direkte Bedürfnisbefriedigung: Enträtselung und kognitive Durchdringung eines Objekts führt zu Unbestimmtheitsreduktion und Kompetenzgewinn. • Assoziative Bedürfnisbefriedigung: Vorwegnahme oder Erinnerung an eine Bedürfnisbefriedigung durch Betrachtung eines Objekts. • Durch Bedürfnisbefriedigungen werden Lustsignale ausgelöst, die die ästhetische Erfahrung ausmachen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sie ist gut zur kognitiven Modellierung geeignet. • Sie ist eine integrative und umfassende Theorie, die Kognition, Motivation sowie Emotion berücksichtigt. • Die Theorie ist kaum empirisch belegt. • Reduktionismus: Kann das Modell z. B. die Kunstbetrachtung von dem Lösen eines Kreuzworträtsels unterscheiden? • Fraglich bleibt, ob sich ästhetisches Erleben, das in seinem Wesen sehr komplex und vielschichtig sein kann, tatsächlich durch ein einfaches Lustsignal definiert werden kann.

1.2.6 Integration der Theorien zur Erklärung der Dynamik des Gefallens

Nachdem mehrere verschiedene Mechanismen der ästhetischen Wahrnehmung vorgestellt worden sind, soll im nächsten Schritt diskutiert werden, ob es Gemeinsamkeiten zwischen den Ansätzen gibt und inwiefern die Mechanismen zur Erklärung einer Dynamik des Gefallens geeignet sein könnten.

Wie in Kapitel 1.2.2 schon erwähnt wurde, besteht nach Leder et al. (2004) eine ästhetische Erfahrung darin, ein Kunstwerk oder einen Gegenstand auf der kognitiven Ebene erfolgreich zu durchdringen, indem es klassifiziert und verstanden wird. Als Produkt dieses kognitiven Prozesses entsteht ein ästhetisches Urteil und als Nebenprodukt eine (ästhetische) Emotion. Im Prinzip hat Dörner eine ganz ähnliche Ansicht: Er versteht das Betrachten eines Kunstwerks als eine Art Problemlöseprozess, bei dem das Verstehen der „Einheit in der Mannigfaltigkeit“ im Vordergrund steht. Das, was bei Leder et al. als „kognitives Durchdringen“ und „Verstehen“ bezeichnet wird, klingt ähnlich wie Dörners Konzept der Ästhetik als Problemlösen und die damit verbundene Unbestimmtheitsreduktion. Statt der Entstehung einer ästhetischen Emotion, wie Leder et al. es behaupten, spricht Dörner von Lust- bzw. Unlustsignalen, die ein bestimmtes Gefühl hervorrufen. Oberflächlich betrachtet weisen die Theorien somit einige Gemeinsamkeiten auf. Trotz dieser Gemeinsamkeiten existieren auch einige Unterschiede zwischen beiden Theorien. Während Dörner ein sehr allgemein gehaltenes Modell beschreibt, welches mehrere Phänomene menschlichen Verhaltens zugleich erklären soll, beschränkt sich der Ansatz von Leder und Kollegen auf die Verarbeitung von visuellen und kunstspezifischen Reizen. Hinzu kommt, dass bei dem Modell der ästhetischen Erfahrung der Motivationsaspekt fehlt. Ein interessanter Punkt wäre sicherlich, warum sich Menschen mit Ästhetik beschäftigen. Der Ansatz von Leder et al. lässt an dieser Stelle noch einige Fragen offen.

Auffällig ist auch eine weitere Ähnlichkeit: Berlyne (1974b) geht ebenso wie Dörner davon aus, dass eine allgemeine Motivation den Menschen antreibt. Die Ästhetik ist seiner Ansicht nach ein Spezialfall dieser allgemeinen Hedonik, was dem ästhetischen Prozess eine motivationspsychologische Fundierung gibt. Berlynes Ansatz zufolge ist der Mensch im Wachzustand immer bestrebt, sich ein optimales Aktivierungsniveau zu verschaffen. Carbon (2010, S. 243) vermutet, dass generelle Vorlieben für visuelle Objekte vielleicht auf evolutionär entwickelten Prozessen beruhen, wie z. B. Heuristiken, die uns sagen, wo wir Gefahren erwarten können. Im Gegensatz zu kurvig geformten Objekten, könnten kantige Formen demnach zwar Hinweisreize für Gefahren darstellen, aber sie könnten auch unseren Aktivierungszustand verändern, was gleichzeitig unser Gefallen beeinflusst, wie Berlyne

(1974b) es annimmt. Kreidler und Kreidler (1980) bezweifeln zu Recht, dass Berlynes Theorie die Kunst vom Humor, dem Spiel und der Wissenschaft zu unterscheiden vermag. Fragwürdig bleibt auch, ob ästhetisches Erleben wirklich so stark durch Reizeigenschaften bestimmt wird, wie es der behavioristische Ansatz von Berlyne annimmt.

Ein sehr überzeugendes Konzept für die Erklärung von ästhetischem Gefallen ist das Hedonic Fluency Modell (Winkielman et al., 2003). Mit dem Modell lässt sich sehr gut erklären, warum Reize nach wiederholter Betrachtung ein lustvolles Erleben auslösen können. Allerdings findet es keine Antwort auf die Tatsache, dass eine zu häufige Darbietung desselben Reizes das Gefallen ab einem bestimmten Zeitpunkt reduzieren kann.

Der Zusammenhang von erhöhter Verarbeitungsflüssigkeit und positivem Affekt hat Ähnlichkeiten mit dem von Dörner (2008, S. 376) beschriebenen Prozess der Enträtselung: Während ein Mensch ein ihm unbekanntes Bild betrachtet, gleicht er die Strukturen der Reizkonfiguration mit den Inhalten – sogenannten sensorischen Schemata – ab, die in seinem Gedächtnis gespeichert sind. Sobald bei diesem Abgleichungsprozess passende Schemata gefunden und erfolgreich auf die Strukturen angewendet werden können (syntaktische Ordnung, semantische Ordnung), wird Unbestimmtheit reduziert. Gleichzeitig bildet sich ein neuer Gedächtnisinhalt bzw. ein neues sensorisches Schema für das betrachtete Objekt, was mit einer Prototypenbildung vergleichbar wäre. Eine Folge aus diesem Prozess wäre ein Anstieg der Verarbeitungsflüssigkeit bei der Wahrnehmung des Gegenstands. Wie Winkielman et al. (2003) vermuten, führt die Prototypenbildung dazu, das Bild vertrauter werden zu lassen. Auf diesem Weg wäre die Verbindung zwischen erhöhter Verarbeitungsflüssigkeit und positivem Affekt hergestellt. Alles zusammen – die Unbestimmtheitsreduktion und damit eine erhöhte Verarbeitungsflüssigkeit sowie eine wachsende Vertrautheit – könnte dazu führen, dass die Reizkonfiguration als schön empfunden wird.

Dörners (2008, S. 376) theoretische Überlegungen könnten darüber hinaus auch die Dynamik der ästhetischen Wahrnehmung erklären. Nach den Annahmen seiner Theorie, müsste die Verarbeitungsflüssigkeit mit der Zeit zwar zunehmen, das Lustempfinden jedoch ab einem bestimmten Zeitpunkt abnehmen, weil der Widerstand während der Unbestimmtheitsreduktion geringer wird. Ist irgendwann kaum Widerstand mehr vorhanden, müsste das Objekt schließlich zu bestimmt bzw. vertraut werden und nur noch wenig Unbestimmtheit bieten. Abbildung 1.4 veranschaulicht die gerade beschriebene hypothetische Veränderung des Lustempfindens in Abhängigkeit der Häufigkeit der Reizdarbietung. Mit der Einführung eines neuen Trends wird die Aufmerksamkeit auf einen neuen, noch unbekannten

Gegenstand gerichtet. Da das neue Objekt bisher nicht exploriert wurde, ist der Widerstand während der Unbestimmtheitsreduktion anfangs hoch und der Prozess beginnt von neuem.

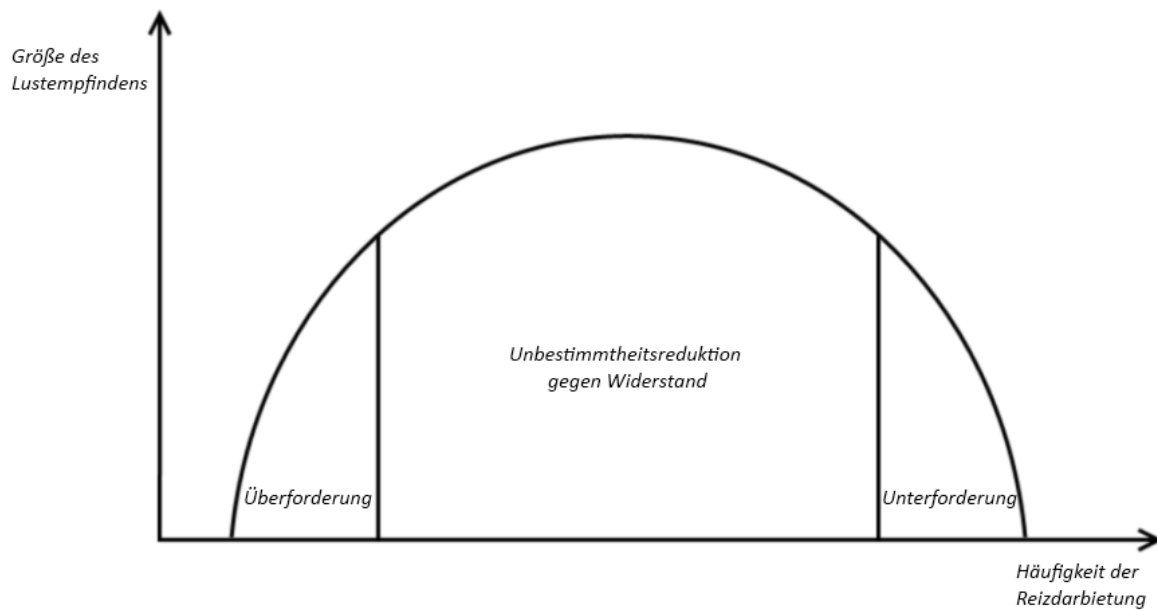


Abbildung 1.4. Hypothetische Veränderung des Lustempfindens bei der Betrachtung eines Objekts in Abhängigkeit von der Darbietungshäufigkeit; abgeleitet aus den theoretischen Überlegungen von Dörner (2008, S. 376)

Dieser Ansatz bietet eine sehr gute Erklärung für die Dynamik des Gefallens, da vor allem motivationale Aspekte berücksichtigt werden. Desweiteren kann der Zusammenhang von erhöhter Verarbeitungsflüssigkeit und positivem Affekt mithilfe dieser Theorie erklärt werden.

2 Kognitive Modellierung

Mit der Behauptung “You can’t play 20 questions with nature and win” (Newell, 1973) stößt Newell eine wichtige Debatte in der psychologischen Forschung an. Statt auf experimentellem Weg weitere Phänomene zu untersuchen, sollten wir seiner Meinung nach versuchen, einen einheitlichen theoretischen Rahmen zu finden, der die Ergebnisse mehrerer Experimente miteinander vereint. Dass die Theoriebildung ein wichtiger Bestandteil der psychologischen Forschung ist, behaupten auch Langley, Laird und Rogers (2009). Sie fordern, mehrere empirische Befunde in eine Gesamtheorie zu integrieren, um dann im nächsten Schritt die Theorie zu testen und anschließend weiter zu verfeinern, statt Mikrostudien durchzuführen, die jeweils nur eine Fragestellung auf einmal untersuchen können (Langley et al., 2009, S. 141). Eine Möglichkeit zur Integration verschiedener empirischer Befunde zu einer einheitlichen allgemeinen Theorie und anschließender Überprüfung dieser Theorie bietet die kognitive Modellierung.

Für die vorliegende Arbeit ist die kognitive Modellierung von besonderer Bedeutung, da mit ihrer Hilfe die von Carbon (2010) gezeigte Dynamik des Gefallens simuliert werden soll. Daher wird in diesem Kapitel zunächst in das Thema Kognitive Modellierung eingeführt. Anschließend werden bereits existierende kognitive Architekturen erläutert. Zum Schluss werden zukünftige Herausforderungen in der Forschung der kognitiven Modellierung dargestellt.

2.1 Was ist kognitive Modellierung?

Die kognitive Modellierung ist eine Methode der Kognitionswissenschaften, bei der es darum geht, das Wesen der Kognitionen (insbesondere Motivation, Emotion und Wahrnehmung) und anderer kognitiver Funktionalitäten zu verstehen (Sun, 2008). Das Hauptziel der Konstruktion kognitiver Architekturen besteht darin, ein detailliertes Verständnis über kognitive oder mentale Prozesse zu erlangen, indem Informationsverarbeitungsmodelle von Wissensrepräsentationen und kognitiven Mechanismen konzipiert werden (Sun, 2008; Bach, 2009).

Nach Sun (2008) können Modelle in den Kognitionswissenschaften in drei verschiedene Kategorien eingeteilt werden:

- *Computergestützte Modelle:*
Kognitive Prozesse werden mithilfe von Algorithmen beschrieben.
- *Mathematische Modelle:*
Verhältnisse zwischen Variablen werden durch mathematische Gleichungen beschrieben.
- *Verbal-konzeptuelle Modelle:*
Entitäten, Relationen und Prozesse werden in einer eher informellen, natürlichen Sprache beschrieben.

Diese Formen der Modellierung können entweder unabhängig voneinander oder auch in Kombination angewendet werden. Bevor beispielsweise eine kognitionspsychologische Theorie am Computer modelliert wird, ist es meist hilfreich, zuerst ein verbal-konzeptuelles Modell zu erstellen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich vorwiegend auf die computergestützte kognitive Modellierung, wobei auch, wie später zu sehen ist, ein mathematisches Modell verwendet wird.

Der Ansatz der computergestützten kognitiven Modellierung ist relativ neu. Nennenswerte Entwicklungen in dem Bereich gibt es erst seit den 1960er Jahren (Sun, 2008, S. 4–5). Die womöglich erste Idee eines umfassenden Modells der wichtigsten Merkmale der menschlichen Kognition haben Alan Newell und Herbert Simon (1976) durch die Aufstellung der *Physical Symbol System Hypothesis* vorangetrieben. Nach dieser Hypothese hat ein sogenanntes physikalisches Symbolsystem die notwendigen und hinreichenden Voraussetzungen für eine allgemeine Intelligenz. *Notwendig* bedeutet in dem Zusammenhang, dass jedes beliebige physikalische System, das eine allgemeine Intelligenz aufweist, ein physikalisches Symbolsystem (PSS) ist. *Hinreichend* meint, dass jedes beliebige physikalische System so organisiert werden kann, dass es eine allgemeine Intelligenz zeigt. Ein PSS (Newell, 1994) besteht aus einer Menge von Symbolen, aus denen mithilfe einer Menge von Relationen Symbolstrukturen geformt werden können. Die Hauptkomponenten eines PSS sind ein Gedächtnis für Symbole und Symbolstrukturen sowie eine Menge von Verarbeitungsprozessen. Letztere können z. B. durch Wahrnehmung von Objekten oder durch Denken Symbolstrukturen erzeugen. Außerdem können sie motorische Aktionen auslösen oder bereits erzeugte Symbolstrukturen im Gedächtnis verändern. Newell und Simons (1976)

Idee von einem PSS bereitete den Weg zur Entwicklung verschiedener kognitiver Architekturen.

Das Entwickeln von kognitiven Architekturen folgt einem anderen Paradigma als die experimentelle Psychologie: Das experimentelle Vorgehen besteht darin, zuerst eine individuelle Fragestellung zu finden, dann ein Experiment zu entwickeln, um Belege für oder gegen eine aufgestellte Hypothese zu finden, und anschließend das Experiment anhand einer Gruppe von Probanden durchzuführen (Bach, 2009, S. 12).

Bei der kognitiven Modellierung dagegen überlegt derjenige, der ein kognitives Modell entwirft, wie eine Reihe von bestimmten kognitiven Fähigkeiten (z. B. beim Problemlösen) realisiert werden kann und schlägt daraufhin eine Lösung vor. Das vorgeschlagene Modell sollte bereits erbrachte Forschungsergebnisse berücksichtigen. Zudem sollte es so detailliert sein, dass spezifische Vorhersagen zu einem bestimmten Gegenstand gemacht oder neuronale Korrelate gefunden werden können. Es muss für eine empirische Überprüfung möglich sein, das Modell experimentell zu testen, indem z. B. behavioristische Studien oder neurobiologische Untersuchungen durchgeführt werden. Gewöhnlich sind jedoch nicht alle Bestandteile einer kognitiven Architektur für eine empirische Überprüfung zugänglich, weil alle Bestandteile zusammen das System und seine Funktionsweise ausmachen. Daher hängt die Validität eines Modells davon ab, ob es einerseits empirische Daten abbilden kann und andererseits im Vergleich zu anderen Modellen sparsam an Grundannahmen ist (Bach, 2009, S. 12).

Diese beiden beschriebenen Paradigmen müssen aber nicht unbedingt für sich alleine stehen. Langley et al. (2009) schlagen z. B. vor, beide Vorgehensweisen zu verbinden, indem empirische Befunde in eine Gesamttheorie integriert werden, um dann im nächsten Schritt die Theorie zu testen und weiter zu verfeinern. Diese Ansicht hat auch Bach (2009):

The integration of regularities obtained in experimental psychology into the architecture is not just a re-formulation of what is already known but requires an additional commitment to a way this regularity is realized, and thus a more refined hypothesis, which in turn makes further predictions that can be taken into the lab of the experimental psychologist. (Bach, 2009)

Sobald ein kognitives Modell hinreichend beschrieben und implementiert ist, also beispielsweise ein fertiges ComputermodeLL vorliegt, besteht der nächste Schritt darin, umfangreiche Simulationen basierend auf dem Modell durchzuführen (Newell, 1994).

2.2 Kognitive Architekturen

Nach Langley et al. (2009) bildet eine kognitive Architektur die grundlegende Infrastruktur für ein intelligentes System. Solch eine Architektur beinhaltet die Aspekte eines kognitiven Agenten, die über die Zeit und in verschiedenen Anwendungsgebieten konstant bleiben. Dazu gehören typischerweise:

- Ein Kurz- und ein Langzeitspeicher für Gedächtnisinhalte über Vorstellungen, Ziele und Weltwissen des Agenten
- Die Repräsentation von Elementen/Objekten, die in dem Gedächtnis gespeichert werden und deren Organisation in höheren mentalen Strukturen
- Die funktionalen Prozesse, die auf den vorhandenen Strukturen operieren, inklusive Ausführungsmechanismen, die diese verwenden und Lernmechanismen, die diese verändern

Das Wissen und die Vorstellungen sind nicht Teil der kognitiven Architektur, da sie Inhalt des Gedächtnisses sind und sich im Laufe der Zeit ändern können. Als Vergleich kann man sich die Architektur eines Gebäudes vorstellen, welches aus Merkmalen besteht, die beständig bleiben und schon bei der Planung festgelegt werden, wie etwa das Fundament, das Dach oder die Anordnung der Räume. Im Gegensatz dazu sind die Einrichtung oder der Zweck des Gebäudes Merkmale, die sich erst im Nachhinein ergeben und sich im Laufe der Zeit verändern können (Langley et al., 2009, S. 141).

Die Entwicklung und Verwendung von kognitiven Architekturen wird momentan in zwei Bereichen vorangetrieben: Taatgen und Anderson (2008) zufolge dienen kognitive Architekturen zum einen in der Forschung der künstlichen Intelligenz dem Vorhaben, intelligente Maschinen nach dem Vorbild der menschlichen Intelligenz zu entwickeln. Zum anderen entstehen sie in der Forschung der kognitiven Psychologie aus dem Versuch heraus, eine vereinheitlichte kognitive Theorie (Newell, 1994) zu formulieren. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit kognitiven Architekturen, die der zweiten Kategorie zuzuordnen sind. In diesem Bereich dienen kognitive Architekturen darüber hinaus als Testumgebungen, die einem Modellierer dazu dienen sollen, Simulationsmodelle für Phänomene der menschlichen Kognition zu entwickeln (Taatgen & Anderson, 2008). Sie sind das Fundament für die Simulation psychologischer Phänomene.

Ein großes Problem bei der Entwicklung von kognitiven Architekturen ist jedoch, dass die Validität von kognitiven Modellen nur schwer geprüft werden kann. Angenommen, ein

Modell zeigt das gleiche Verhalten wie der Mensch, dann ist dies womöglich ein Zeichen für eine hohe Validität. Was ist aber, wenn mehrere verschiedene Modelle das gleiche Verhalten zeigen? Welches Kriterium ist dazu geeignet, festzustellen, welches das bessere Modell ist? Leider gibt es keine quantitativen Messmethoden für die Validität eines Modells. Taatgen und Anderson (2008, S. 171) legen jedoch einige Kriterien fest, anhand derer sich die Validität beurteilen lässt:

- Ein gutes Modell sollte so wenig freie Parameter wie möglich haben
- Ein Modell sollte das Verhalten nicht nur beschreiben, sondern auch vorhersagen
- Ein Modell sollte ein aufgabenspezifisches Wissen selbst lernen und nicht vorgegeben bekommen

2.2.1 Klassen von kognitiven Architekturen

Nach Bach (2009) lassen sich kognitive Architekturen in folgende Klassen einteilen:

Tabelle 2.1. Klassen zur Einteilung kognitiver Architekturen

Klasse	Merkmale
Klassische (symbolische) Architekturen	<ul style="list-style-type: none"> • Sogenannte (regelbasierte) Produktionssysteme³ • Entspringen Newells Idee von einer vereinheitlichten Theorie der menschlichen Kognition (Newell, 1994) • Konzentrieren sich auf symbolisches Denken • Strikte Language of Thought⁴ (Fodor, 1975)
Verteilte parallelverarbeitende (subsymbolische) Architekturen	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht-symbolisches verteiltes Rechnen (üblicherweise basierend auf neuronalen Netzwerken) • Inspiriert von biologischen neuronalen Systemen • Obwohl sie in der Rechenleistung den symbolischen Architekturen nicht wesentlich nachstehen, ist es schwer, ein neuronales Netz so zu trainieren, dass es symbolische Operationen durchführen kann • Auf der anderen Seite scheinen sie ein sehr produktives Paradigma

³ Ein System, das die Anwendung von Produktionen steuert, nennt man Produktionssystem. Zwei bekannte kognitive Architekturen, ACT-R und Soar, gehören zu der Gruppe der Produktionssysteme. Im Fall von ACT-R (Anderson & Lebiere, 1998) sind die Bausteine des prozeduralen Wissens Produktionsregeln (oder kurz: Produktionen), welche aus einem Bedingungsteil und einem Aktionsteil bestehen. Der Bedingungsteil prüft den Inhalt des Arbeitsgedächtnisses. Wenn die im Bedingungsteil formulierte Konstellation im Arbeitsgedächtnis vorliegt, kann der Aktionsteil ausgeführt werden.

⁴ Die Language of Thought Hypothese (LOTH) von Jerry Fodor (1975) postuliert die Existenz einer Art Sprache, in der Denkvorgänge stattfinden.

	zu sein, um motorische Fähigkeiten und einige Wahrnehmungsprozesse zu modellieren
Hybride Architekturen	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzen verschiedene Ebenen für verschiedene Aufgaben: Eine Ebene, die z. B. symbolische Operationen durchführt und eine andere Ebene für verteilte Prozesse, die z. B. sensumotorische Operationen lernt • Üblicherweise sind hybride Architekturen heterogen (z. B. bestehen sie aus verschiedenen inkompatiblen repräsentationalen Ansätzen, die über eine Schnittstelle miteinander kommunizieren), sie können aber auch homogen sein (indem sie eine einzige Art der Repräsentation für verschiedene Aufgaben haben)
Biologisch inspirierte Architekturen	<ul style="list-style-type: none"> • Direktes Nachahmen von neuronalen Strukturen, entweder für einen ganzen Organismus oder für eine Ebene in einer hybriden Architektur

2.2.2 Ein Überblick existierender Architekturen

Soar

Soar (States, Operators, And Reasoning) wurde von Laird, Newell und Rosenbloom (Newell, 1994) entwickelt und ist eine der ersten kognitiven Architekturen. Sie ist eine Weiterentwicklung des General Problem Solver (Newell & Simon, 1961), der ein erster Versuch war, eine mathematische Formulierung für das menschliche Problemlösen zu finden. Mit Soar wollte Newell ein vereinheitlichtes Modell der menschlichen Kognition formulieren, das so simpel wie möglich ist und trotzdem anspruchsvolle kognitive Aufgaben erfüllen kann.

Der einzige wichtige Aspekt intelligenten Handelns ist nach der Soar-Theorie das Anwenden allen verfügbaren Wissens, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Nach Newell (1994) ist die menschliche Kognition und Soar eine Annäherung an ein ideales intelligentes Wissenssystem, welches folgendermaßen definiert ist: Ein Wissenssystem ist eingebettet in eine externe Umgebung, mit der es durch Anwendung von möglichen Aktionen interagiert. Das Verhalten des Systems ist eine Sequenz von Aktionen, die in der Umgebung über die Zeit hinweg durchgeführt werden. Das System strebt danach, ein bestimmtes Ziel zu erreichen, genauer: Es versucht, den Zustand der Umgebung mithilfe von Operatoren so zu verändern bis der Zielzustand erreicht ist. Als Medium der internen Informationsverarbeitung dient das Wissen, welches Informationen über die Umgebung, die Ziele, die Operatoren und darüber, wie diese sich aufeinander beziehen, speichert. Das System handelt nach nur einem Prinzip:

Es führt Aktionen aus und nutzt sein ganzes Wissen, um seine Ziele zu erreichen (Newell, 1994).

Nach der Soar-Theorie wird jedes intelligente Verhalten als eine Form von Problemlösen betrachtet. Zentral für Soar ist der Begriff des Problemraums. Ein Problemraum besteht aus einer Menge von Zuständen mit festgelegtem Start- und Endzustand. Jede Aufgabe ist durch einen Problemraum repräsentiert. Das Ziel ist es, den festgelegten Endzustand zu erreichen. Ein Suchprozess sucht nach einer Abfolge von Operatoranwendungen, die den Zustand des Problemraumes solange verändern, bis der Endzustand erreicht ist oder keine weiteren Operatoren mehr gefunden werden. In diesem Fall erreicht der Prozess eine Sackgasse. Um den Endzustand zu finden, ist für den Algorithmus ein Wissen über mögliche Operatoren, deren Konsequenzen und darüber, wie zwischen Operatoren ausgewählt wird, wichtig. Wenn bei der Suche nach möglichen Operatoren der Algorithmus keine weiteren Operatoren findet und in einer Sackgasse feststeckt, wird das Entkommen aus dieser Sackgasse zu einem neuen Unterziel des ursprünglichen Ziels. Nachdem das Unterziel erreicht wurde, geht es wieder darum, das Hauptziel zu erreichen. Das Unterziel hat seinen eigenen Problemraum und eine eigene mögliche Auswahl an Operatoren. Lernen findet dabei durch das Erreichen eines Unterziels statt: Neues Wissen wird in das System aufgenommen, indem Operatoren ausprobiert und die Konsequenzen erfahren werden.

Soar ist eine rein symbolische Architektur, in welcher alles Wissen explizit angegeben werden muss und welche leider nur beschränkt einsetzbar ist. Die einzigen Mittel, um ein Phänomen zu modellieren, sind ein Langzeitgedächtnis, ein Lernmechanismus und eine Repräsentationsform für Wissen. Auch wenn es den theoretischen Vorteil hat, dass das Modell mit nur wenigen Grundannahmen auskommt, sind die Mittel zu beschränkt, um viele psychologische Phänomene abzubilden.

ACT-R

Die kognitive Architektur ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational; Anderson und Lebiere, 1998) sollte die Probleme lösen, an denen Soar scheiterte. Neben Soar ist ACT-R im Bereich der symbolischen kognitiven Architekturen das Modell, welches am meisten kognitive Phänomene abdeckt und am häufigsten verwendet wird. Vermutlich ist es auch im das Modell, welches am besten durch Forschungsergebnisse der experimentellen Psychologie fundiert ist (Bach, 2009, S. 34).

ACT-R (Adaptive Control of Thought, Rational) gehört neben Soar zur Gruppe der Produktionssysteme und basiert auf den folgenden drei wichtigen Komponenten:

- Das Prinzip der rationalen Analyse (Anderson, 1990),
- Die Einteilung von Wissen in prozedurales und deklaratives Wissen (Anderson & Lebiere, 1998)
- Eine modulare Struktur, in der die Komponenten über sogenannte Buffer kommunizieren

Die grundlegende Annahme der *rationalen Analyse* ist, dass kognitive Prozesse optimal anpassungsfähig sind und dass präzise Einschätzungen von kognitiven Funktionen die statistischen Wahrscheinlichkeiten aus der Umwelt widerspiegeln. Das kognitive System eines Organismus optimiert die Anpassung des Verhaltens an die Anforderungen der Umwelt. Ein Beispiel ist die Auswahl von Strategien oder auch ein Gedächtnisabruf: Jedes Mal, wenn mehrere Strategien zur Auswahl stehen oder wenn bei einem Gedächtnisabruf mehrere Gedächtniselemente ausgewählt werden können, wählt ACT-R jenes Element, welches den höchsten Nutzen hat, d. h. die geringsten Kosten und die höchste Erfolgswahrscheinlichkeit (Taatgen & Anderson, 2008). Im Unterschied dazu benötigt Soar erst ein präzises Wissen über den Umgebungszustand, um entscheiden zu können, welche Strategie angewendet werden soll.

Das Wissen von ACT-R wird in Form von sogenannten *Chunks* in semantischen Netzwerken angelegt, welche hierarchisch strukturiert sind. Das Gedächtnismodell basiert auf dem Modell des menschlichen assoziativen Gedächtnisses (human associative memory, kurz: HAM) von Anderson und Bower (1974), welches einen assoziativen Wissensabruf unterstützt. Wie bereits oben erwähnt, gehört ACT-R zur Gruppe der Produktionssysteme, was bedeutet, dass die ACT-Theorie zwischen prozeduralem und deklarativem Gedächtnis unterscheidet (Anderson & Lebiere, 1998). Jedes Gedächtnis hat seine eigenen Repräsentationsformen und Lernmechanismen. Das prozedurale Gedächtnis (Procedural Memory; Abbildung 2.1) speichert sogenannte Produktionsregeln (Produktionen), welche direkt nach einem Abgleich (Pattern Matching; Abbildung 2.1) auf Situationen angewendet (Production Execution; Abbildung 2.1) werden können. Für jede Produktion wird ein Gebrauchswert gespeichert, der angibt, wie erfolgreich die Produktion in der Vergangenheit angewendet wurde. Das deklarative Gedächtnis (Declarative Memory; Abbildung 2.1) ist dagegen eher passiv, d. h. die Wissens Elemente müssen explizit abgerufen werden. Jedes Element hat einen

Aktivierungswert, der aus der Abrufhäufigkeit in der Vergangenheit errechnet wird. So lässt sich z. B. Vergessen simulieren. Der Abruf von *Chunks* folgt einem eher subsymbolischen Paradigma, nämlich der Aktivierungsausbreitung, die anhand der Aktivierungswerte berechnet wird (Bach, 2009). Teil des deklarativen Gedächtnisses ist auch das Arbeitsgedächtnis, weshalb ein separates Arbeitsgedächtnis überflüssig ist (Taatgen & Anderson, 2008).

Das Produktionssystem, welches den Kern der Architektur ausmacht, kann nicht jede beliebige Information abrufen, ist aber imstande, mit anderen Komponenten über *Buffer* (ACT-R Buffers; Abbildung 2.1) zu kommunizieren. Wenn das visuelle Modul (Visual Module; Abbildung 2.1) beispielsweise neue Informationen empfängt, werden diese enkodiert im visuellen Buffer abgelegt, sodass sie z. B. für die Produktionen zugänglich sind. Das reduziert zwar die Mächtigkeit der Produktionen, erlaubt aber paralleles Arbeiten der verschiedenen Module (Taatgen & Anderson, 2008).

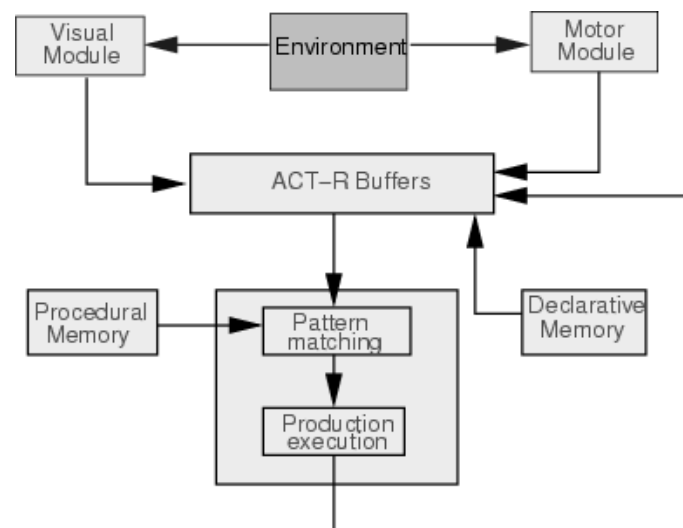


Abbildung 2.1. Komponenten von ACT-R (Budi, o. J.)

ACT-R ist jedoch kein vollständiges Modell der menschlichen Kognition. Das Modell ist nicht autonom oder in irgendeiner Weise motiviert. Die Ziele und Absichten müssen immer vom Experimentleiter vorgegeben werden. Dennoch können mehrere psychologische Phänomene (von visueller Wahrnehmung bis hin zum Lernen mentaler Arithmetik), die in Experimenten beobachtet wurden, mit der kognitiven Architektur simuliert werden. Zudem ist das Testen von kognitiven Modellen relativ einfach möglich, indem Reaktionszeiten des Modells mit denen von menschlichen Versuchspersonen verglichen werden, obwohl nur ein paar grundlegende Annahmen über die Aktivierungsausbreitung gemacht werden (Bach, 2009).

CLARION

Die CLARION-Architektur (Connectionist Learning with Adaptive Rule Induction Online; Sun, 2006) vereint eine Reihe von neuen Ansätzen der kognitiven Modellierung miteinander, wie z. B. die Interaktion von impliziten und expliziten Prozessen, die Interaktion von kognitiven und metakognitiven Prozessen oder die Interaktion zwischen Kognition und Motivation.

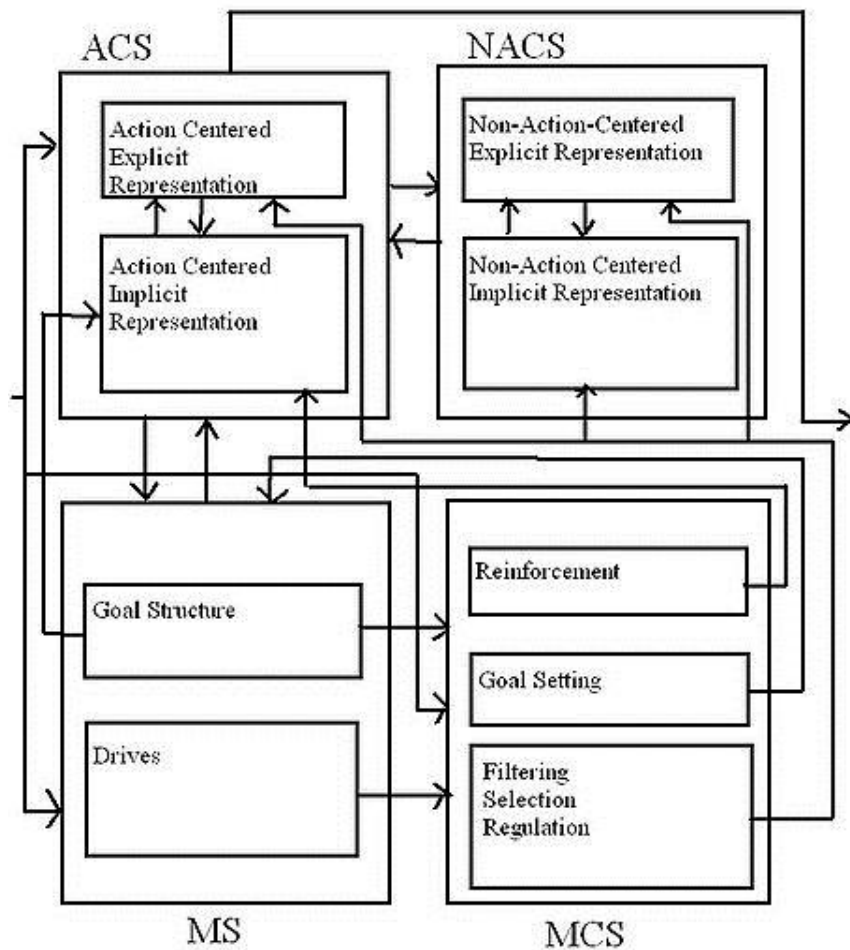


Abbildung 2.2. Die CLARION Architektur. ACS kennzeichnet das handlungszentrierte Subsystem, NACS, das nicht-handlungszentrierte Subsystem, MS, das motivationale Subsystem und MCS, das metakognitive Subsystem (Sun, 2006, S. 80)

CLARION basiert auf der Annahme, dass eine strukturelle Dichotomie zwischen expliziten und impliziten kognitiven Prozessen existiert (Sun, 2002). Die Unterscheidung ist sehr eng mit anderen in den Kognitionswissenschaften bekannten Dichotomien verbunden: Symbolische vs. subsymbolische Verarbeitung, konzeptuelle vs. subkonzeptuelle Verarbeitung u. a. (Smolensky, 1988). Die kognitive Architektur hat zunächst zwei Subsysteme: Ein handlungszentriertes (action-centered; ACS; Abbildung 2.2) und ein nicht-

handlungszentriertes (non-action-centered; NACS; Abbildung 2.2) System, entsprechend der Unterscheidung zwischen einem prozeduralem und einem deklarativem System. Während das handlungszentrierte System direkt Einfluss auf das Handeln und das Denken hat, kann das nicht-handlungszentrierte System nur indirekt das Verhalten beeinflussen. Zudem besteht jedes dieser beiden Subsysteme aus einem oberen (expliziten) und einem unteren (impliziten) Level, von denen jedes individuelle Formen der Repräsentation sowie eigene Prozesse hat. Das Lernen kann zum einen bottom-up-gerichtet stattfinden, indem Wissen zunächst implizit angeeignet wird und später als Basis für explizites Lernen dient. Zum anderen kann es sich top-down-gerichtet ereignen, indem Wissen zuerst explizit aufgenommen und anschließend durch implizites Lernen weiter gefestigt wird. Eine zentrale Annahme beim Lernen ist: Wenn a priori kein explizites Wissen vorhanden ist, findet der Lernprozess bottom-up statt. Das Wissen wird zuerst in der impliziten Ebene verarbeitet und anschließend in der expliziten Ebene verwendet.

Ein besonderes Merkmal von CLARION ist die Einbeziehung eines motivationalen und eines metakognitiven Subsystems. Sein Verhalten ist ein Produkt aus interagierenden impliziten (bottom-up-gerichteten) sowie expliziten (top-down-gerichteten) Prozessen, welche von einem motivationalen Subsystem (MS; Abbildung 2.2), das die Systemziele enthält, und einem metakognitiven Subsystem (MCS; Abbildung 2.2) moduliert werden. Das explizite handlungszentrierte System enthält ein Regelsystem, das mithilfe von gelernten Regeln zu dem aktuell wahrgenommenen Zustand passende Aktionen findet. Das implizite handlungszentrierte System ordnet qualitative Messungen sogenannten State-Action-Paaren zu (Taatgen & Anderson, 2008).

Die Wahl einer Aktion basiert letztlich auf Werten, die jeder Aktion vom expliziten und impliziten System zugeordnet werden. Jedes der beiden Systeme hat seine eigenen Lernmechanismen: Das implizite System lernt mithilfe einer Kombination aus Reinforcement Learning und Backpropagation, um die Bewertung von State-Action-Paaren auf der Basis von Belohnungen zu verbessern. Das explizite System nutzt dagegen einen Mechanismus zur Regelerkennung, welcher Extraktion, Generalisierung und Spezialisierung verwendet, um neue Regeln zu generieren. Neben diesen beiden Systemen, nutzt jedes der anderen Subsysteme von CLARION seine eigenen Mechanismen und Repräsentationen (Taatgen & Anderson, 2008).

Viele der Repräsentationen von CLARION nutzen neuronale Netzwerke. Im Vergleich zu ACT-R ist CLARION eine hybride Architektur, da sie konnektionistische und symbolische Modellierungsansätze miteinander vereint.

2.2.3 Zusammenfassung

Die verschiedenen kognitiven Architekturen wurden vorgestellt, um einen Überblick über das Forschungsfeld der kognitiven Modellierung zu geben. Nach der Soar-Theorie ist die menschliche Kognition eine Annäherung an ein ideales intelligentes Wissenssystem, welches nach nur einem Prinzip handelt: Es führt Aktionen aus und nutzt sein gesamtes Wissen, um seine Ziele zu erreichen. Der Ansatz kommt zwar mit wenigen Grundannahmen aus, verfügt aber nur über beschränkte Mittel, um viele psychologische Phänomene zu modellieren. Außerdem konzentriert sich Newells Ansatz sehr stark auf das menschliche Problemlösen und vernachlässigt viele andere Komponenten, die Einfluss auf das menschliche Verhalten haben, wie z. B. Motivation und Emotion.

ACT-R soll nach dem Prinzip der rationalen Analyse handeln, welches besagt, dass das kognitive System eines Organismus die Anpassung des Verhaltens an die Anforderungen der Umwelt optimiert. Zudem wird in dem System zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen unterschieden und das System besitzt eine modulare Struktur, in der die Komponenten über Buffer kommunizieren. Leider ist das ACT-R-Modell unvollständig, da es – ebenso wie Soar – keine Motivation oder Emotion besitzt. Ziele und Absichten müssen dem System extern vorgegeben werden.

CLARIONs Hauptannahme ist, dass eine strukturelle Dichotomie zwischen expliziten und impliziten Prozessen existiert. Weiter unterscheidet das Modell zwischen einem prozeduralem und einem deklarativem System. Das Besondere an dem Modell ist die Einbeziehung eines motivationalen und eines metakognitiven Subsystems sowie die Vereinigung von konnektionistischen und symbolischen Modellierungsansätzen. Trotzdem bietet die komplexe Struktur von unterschiedlichen Modulen in CLARION nach Raab et al. (2011a) keine nahtlose Integration von Emotionen und Motivation.

2.3 Zukünftige Herausforderungen

Trotz vieler Erfolge in den vergangenen drei Jahrzehnten gibt es in der Forschung zu kognitiven Architekturen weitere Herausforderungen. Nach Langley et al. (2009) sind lange nicht alle Probleme gelöst. In der Zukunft werden nach den Autoren folgende Punkte noch eine große Rolle spielen:

- Bisher konzentrieren sich die Architekturen auf Problemlösen und das Ausführen von Aktionen. Ein ebenso wichtiger Aspekt ist die Fähigkeit, Objekte zu kategorisieren und zu verstehen.

- Dadurch, dass der Fokus bisher sehr stark auf Problemlösen und prozeduralen Fähigkeiten lag, ist die Einbindung von episodischem Wissen in den Hintergrund geraten. Es ist jedoch notwendig, episodisches Wissen gemeinsam mit reflektierenden Prozessen einzubeziehen, die mit den vorhandenen Wissensstrukturen arbeiten.
- Vielfältiges Enkodieren von Informationen auf mehreren Ebenen (visuelle, auditorische, schematische u. a.) ist wichtig.
- Von Bedeutung sind auch die natürliche Sprachverarbeitung und die Fähigkeit, über die eigenen Entscheidungen, Pläne und anderen kognitiven Aktivitäten zu kommunizieren.
- Es werden Architekturen benötigt, die ihre begrenzten Ressourcen verwalten können, indem sie ihre Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse selektiv fokussieren.
- Nur wenige Architekturen beziehen die Interaktionen zwischen Körper und Psyche (Embodiment) mit ein. Der Einfluss des Körpers auf das Denken und die Rolle von Bedürfnissen sollten bei der Entwicklung von kognitiven Architekturen eine größere Rolle spielen.
- Emotionen spielen für das menschliche Verhalten eine zentrale Rolle. Daher ist es wichtig, in der Entwicklung der kognitiven Architekturen Emotionen zu berücksichtigen, die intelligentes Verhalten modulieren.

Außerdem fordern Langley et al. (2009) folgende Veränderungen an Strukturen und Prozessen, die die obengenannten Fähigkeiten unterstützen:

- Bestimmte Architekturen und deren repräsentationalen Strukturen – allen voran Planungs- und Produktionssysteme – haben bisher die Forschung dominiert. Um die Möglichkeiten auszuschöpfen, sollten andere Formen erforscht werden.
- Die meisten Architekturen integrieren bestimmte Lernmechanismen, aber keine kann die optimierten menschlichen Lernmechanismen simulieren. Daher werden robuste und flexible Lernmechanismen benötigt, die für den Gebrauch in komplexen und unbekannten Gebieten geeignet sind und über einen langen Zeitraum auf den Ergebnissen des bisherigen Lernens aufbauen.

2.4 Ansatz zur Modellierung der Dynamik des Gefallens

Die zukünftigen Herausforderungen in der kognitiven Modellierung zeigen, dass die Entwicklung von Architekturen, die menschliche Kognition abbilden können, noch lange

nicht beendet ist. Um Lösungen für einige der Herausforderungen zu finden, schlagen Raab, Wernsdorfer, Kitzelmann und Schmid (2011b) eine kognitive Architektur vor, die auf der PSI-Theorie (Dörner et al., 1998; Dörner et al., 2002; Dörner, 2008) basiert und sie mit dem empirisch gut belegten MINERVA-2-Gedächtnismodell (Hintzman, 1984) verknüpft. Mithilfe dieses Ansatzes könnte eine Dynamik des Gefallens simuliert werden. Folgende Merkmale des Ansatzes sind für die Modellierung der ästhetischen Wahrnehmung wichtig:

- Mithilfe der Gedächtnisstruktur MINERVA-2 ist der Ansatz u. a. imstande, eine Prototypenbildung und Wiedererkennungseffekte abzubilden.
- Ästhetische Prozesse können insbesondere durch die Annahmen der PSI-Theorie zu Motivation und Emotionen modelliert werden.
- Im Gegensatz zu CLARION oder auch ACT-R sind in der kognitiven Architektur von Raab et al. (2011b) Motivation und Emotionen nahtlos miteinander verbunden. Die Autoren argumentieren, dass solch eine Architektur den Unterschied zwischen symbolischen und subsymbolischen Ansätzen überwinden kann. Nach den Autoren ist diese Dichotomie sogar in CLARION vorhanden, obwohl die Architektur beide Ansätze miteinander vereinen soll.
- Die Architektur ist zur Generierung von abstrakten Konzepten fähig und besitzt damit einen wichtigen Bestandteil eines kognitiven Systems. Andere Architekturen, wie z. B. CLARION sind nicht imstande, solch ein Konzept zu erzeugen (Raab et al., 2011b, S. 2).

3 Ziel der vorliegenden Arbeit

Bei der Suche nach einer Erklärung für die Dynamik des Gefallens während der theoretischen Überlegungen in Kapitel 1.2.6 zeigt sich, dass Ansätze wie z. B. das Hedonic Fluency Modell (Winkielman et al., 2003) nur einen Teil des Phänomens erklären können. Die vorliegende Arbeit soll untersuchen, welche zusätzlichen Annahmen notwendig sind, um die Dynamik der ästhetischen Wahrnehmung zu erklären. Daraus resultiert die folgende Fragestellung:

- Was sind die Mechanismen der ästhetischen Wahrnehmung und insbesondere der Dynamik des Gefallens?

Aus der theoretischen Betrachtung in Kapitel 1.2.6 geht darüber hinaus hervor, dass die PSI-Theorie (Dörner, 2008) einen wichtigen Beitrag zur Erklärung des Phänomens leisten kann. Daher lautet eine weitere Fragestellung:

- Kann die von Raab et al. (2011b) vorgeschlagene kognitive Architektur, die auf der PSI-Theorie und dem Gedächtnismodell MINERVA-2 (Hintzman, 1984) basiert, die Dynamik der ästhetischen Wahrnehmung simulieren?

Zur Untersuchung der Fragestellungen, wird zunächst eine kognitive Architektur mit dem Namen *PsiCasso* konzipiert, die auf den theoretischen Überlegungen von Raab et al. (2011b) basiert. Diese wird anschließend verwendet, um die von Carbon (2010) gezeigte Dynamik des Gefallens zu simulieren. Schließlich wird das Modell evaluiert, indem die Ergebnisse der Simulation mit dem tatsächlichen Phänomen verglichen und diskutiert werden.

4 Konzeption der kognitiven Architektur PsiCasso

Wie in Kapitel 3 erwähnt, soll zur Untersuchung der Fragestellungen die Dynamik des Gefallens computergestützt simuliert werden. Bevor ein Modell oder generell eine Anwendung programmiert wird, ist es aus Sicht der Softwareentwicklung wichtig, zuerst zu analysieren, was das Modell oder das System leisten soll (Oestereich & Bremer, 2009). Daher ist eine genaue Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise des Modells hilfreich. In diesem Kapitel wird detailliert beschrieben, wie das Modell aufgebaut ist und auf welchen Annahmen es beruht. Die PsiCasso-Architektur lässt sich grob in folgende Bestandteile unterteilen:

- Ein Motivationssystem (Motivation; Abbildung 4.1) – basierend auf der PSI-Theorie (Dörner, 2008).
- Eine Emotionsregulierung, die ebenfalls auf der PSI-Theorie basiert und den Wahrnehmungsprozess beeinflusst bzw. moduliert.
- Ein Gedächtnis (Memory; Abbildung 4.1) nach dem Vorbild von MINERVA-2 (Hintzman, 1988) ermöglicht z. B. die Abbildung von Prototypen.
- Ein Wahrnehmungsapparat (Perception, Abbildung 4.1), der zum Teil von dem HyPercept-Prozess der PSI-Theorie abgeleitet ist und eine Objekterkennung sowie eine bedürfnisbezogene Aktivierung von Gedächtnisinhalten während des Wahrnehmungsprozesses ermöglicht.

Weitere Funktionen und Eigenschaften, wie z. B. kognitive Prozesse zur Handlungsplanung, wie Dörner (Dörner et al., 2002) sie vorschlägt, werden bei der Konzeption von PsiCasso nicht berücksichtigt. Der Grund liegt in der Annahme, dass diese Prozesse für die ästhetische Wahrnehmung nur eine geringe Rolle spielen. Desweiteren soll PsiCasso nicht in eine Umwelt integriert werden, mit der es interagieren kann, da diese Situation schwerer zu kontrollieren wäre. Die Dynamik des Gefallens soll in einer perfekten Laborsituation, allein durch Präsentation von Bildmaterial und der anschließend gemessenen psychischen Reaktionen (z. B. Veränderung der Bedürfnisse) simuliert werden.

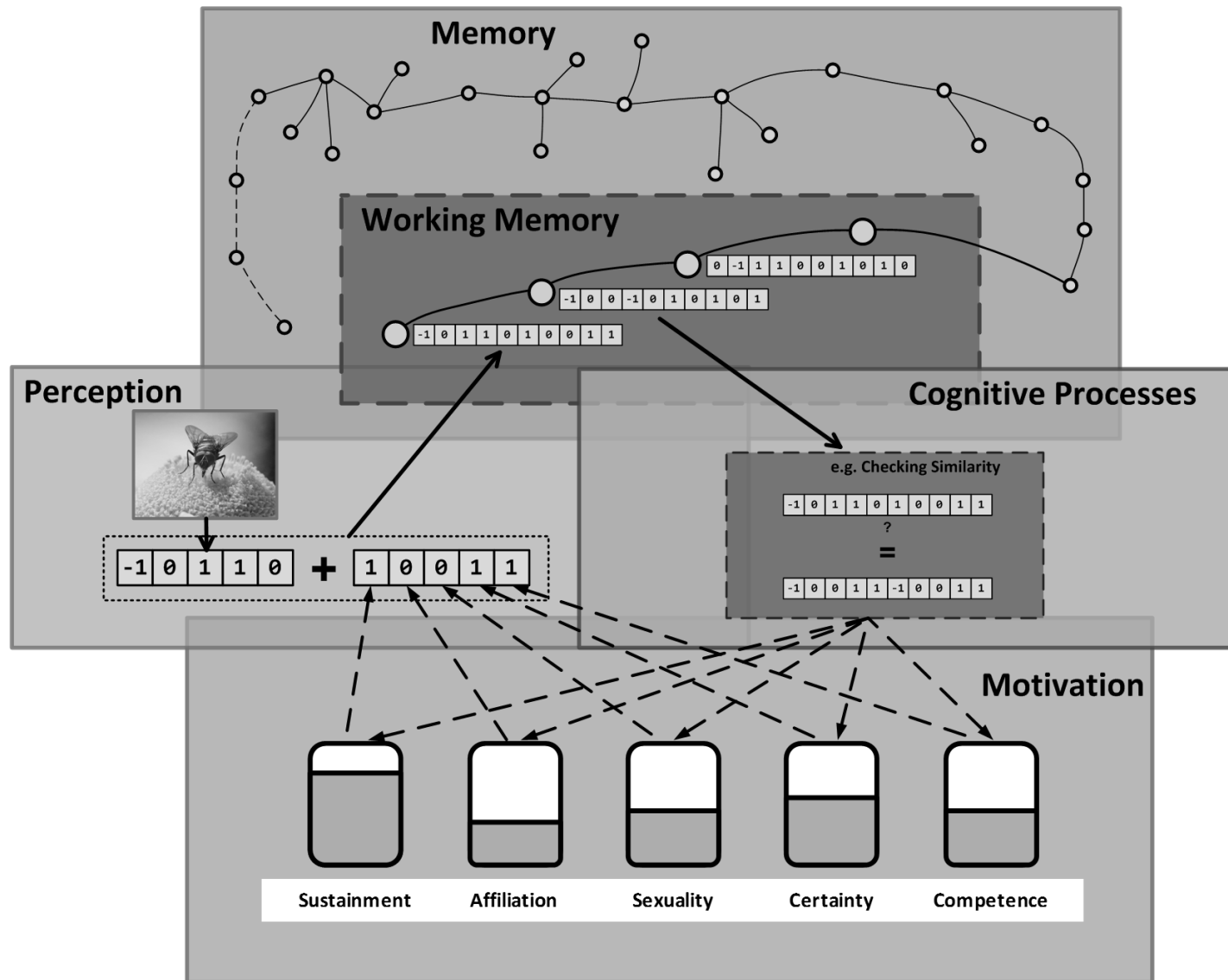


Abbildung 4.1. Die PsiCasso-Architektur.

In den nächsten Abschnitten werden die oben aufgelisteten Komponenten genauer beschrieben. Zu jedem Teil des Modells werden möglichst konkrete Annahmen gebildet, die zum einen als Zusammenfassung und damit einer besseren Übersicht dienen und zum anderen Spezifikationen für ein Architekturdesign bilden. Nach dem üblichen Softwareentwicklungsprozess gehören zu den Kernprozessen eine Planungs-, eine Analyse, eine Entwurfs- und Design-, eine Programmierungs- sowie eine Validierungsphase (Oestereich & Bremer, 2009). Ordnet man die vorliegende Arbeit in diesen Prozess ein, so beschäftigt sich das aktuelle Kapitel mit der Analysephase. In Kapitel 5 geht es um die Entwurfs- oder Designphase, in der die Annahmen und Spezifikationen, die hier entwickelt werden in ein Architekturdesign umgesetzt werden.

4.1 Grundprinzip der psychischen Organisation

Ein Lebewesen ist nach Dörner (2008) ein System, das davon abhängig ist, bestimmte innere Zustände konstant zu halten. Daher spielen in der PSI-Theorie Regelkreise eine wichtige Rolle, die bestimmte Verhältnisse stabil halten sollen: „Ein Regelkreis ist das einfachste Beispiel eines ‚autonomen‘ Systems, eines Systems, das seinen Zustand selbst bestimmt. Denn durch die Rückkopplung ist der Regelkreis von der ‚Außenwelt‘ in einem gewissen Grad unabhängig.“ (Dörner, 2008, S. 30) Ein Beispiel für ein einfaches Regelkreissystem ist das Braitenberg Vehikel (Braitenberg, 1984). In einer ganz einfachen Form besteht es aus einem Roboter mit einem Antrieb – bestehend aus zwei unabhängig angetriebenen Rädern – und einem Paar lichtempfindlicher Sensoren (S_1 und S_2 ; Abbildung 4.2). Die Sensoren steuern jeweils einen von insgesamt zwei Motoren (M_1 und M_2 ; Abbildung 4.2) und bewirken, dass sich die mit ihnen verbundenen Räder bei einem stärkeren Lichtsignal schneller drehen. Sind die Sensoren z. B. kreuzweise mit den Rädern verbunden, gibt der Sensor, der sich näher an der Lichtquelle befindet, ein stärkeres Signal an das weiter entfernte Rad – was dazu führt, dass sich das Vehikel in Richtung Lichtquelle bewegt (siehe Abbildung 4.2; Bach, 2009).

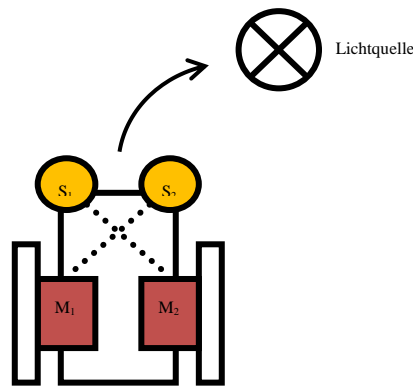


Abbildung 4.2. Beispiel für ein Braitenberg Vehikel (S: Sensor, M: Motor); adaptiert von Bach (2009)

Das Beispiel soll zeigen, dass mit einem Regelkreis ein einfaches Verhalten erzeugt werden kann. Was wäre, wenn wir mehr Sensoren hinzunehmen und weitere Regelkreise einbauen würden? Man könnte z. B. einen Sensor einbauen, der aktiviert wird, wenn es dem Fahrzeug an Treibstoff mangelt und die Suche nach einer Treibstoffquelle auslöst. Dazu könnte ein weiterer Sensor integriert werden, der sich meldet, wenn nicht genug Wasser vorhanden ist und die Priorität der Treibstoffsuche zurückstellt, während er der Suche nach einer Wasserquelle höchste Priorität gibt. Und dabei ist das System ständig darauf bedacht, eine Homöostase, also ein dynamisches Gleichgewicht der einzelnen Regelkreise durch bestimmte Aktionen herzustellen. Die Selbstregulation muss aber nicht auf solch grundlegenden Parametern beschränkt sein. Mit Hinzunahme weiterer Regelkreise und Parameter würde das Verhalten schon bald sehr komplex werden. Der Treibstoffmangel kann ein Bedürfnis neben vielen anderen Bedürfnissen darstellen. Das Finden einer Treibstoffquelle wäre dementsprechend ein Ziel neben vielen anderen Zielen zur Befriedigung von Bedürfnissen (Bach, 2009).

Dieses Prinzip soll verdeutlichen, dass ein autonomes System Bedürfnisse benötigt, die dem Handeln einen Sinn geben. Sie treiben das System an, indem es ständig versucht, ein Gleichgewicht herzustellen. Nach Dörner (2008) ist die Befriedigung von bestimmten Bedürfnissen bei der ästhetischen Wahrnehmung ebenso wichtig wie für andere Handlungen, wie z. B. dem Problemlösen. Daher ist dieses Prinzip unerlässlich für PsiCasso – es soll ein Grundbestandteil des Modells sein. Zusammenfassend resultiert also die erste wichtige Annahme:

Das Prinzip der Homöostase: Ein kognitives System, bestehend aus Beziehungen und Abhängigkeiten, ist so gestaltet, dass es ein homöostatisches Gleichgewicht zwischen den inneren Zuständen und den Umweltbedingungen herzustellen versucht (Bach 2009, S. 304).

4.2 Motivation und Emotion

Damit das Prinzip der Homöostase funktionieren kann, fehlt ein weiterer entscheidender Bestandteil, der im letzten Abschnitt schon kurz erwähnt wurde, nämlich das Bedürfnissystem. Es ist ein grundlegendes Funktionselement der PSI-Theorie, welches die Aktivität eines Lebewesens bestimmt und ebenfalls als Basis für die Funktionsweise von PsiCasso dienen soll. Eine weitere Annahme des Modells lautet:

Die Aktivität eines Systems dient dazu, eine endliche Menge an vordefinierten Bedürfnissen zu befriedigen (Bach, 2009, S. 306).

4.2.1 Bedürfnisse und Bedarf

Zur Erklärung, wie ein Bedürfnis funktioniert, beschreibt Dörner (2008) als Analogie einen Kessel (siehe Abbildung 4.3), der einen Ist- und einen Sollwert hat. Nach diesem Modell einen Behälter, der ständig etwas von seinem Inhalt verliert, während Sensoren ununterbrochen die Abweichung des aktuellen Inhalts vom Sollwert – die sogenannte Ist-Sollwertabweichung – messen. Diese Abweichung entspricht dem aktuellen Bedarf, aus dem ein Bedürfnis hervorgeht. Folgende Annahme ergibt sich daraus:

Ein Bedarf weist darauf hin, dass der aktuelle Zustand vom Sollzustand eines Bedürfnisses abweicht. Er ist proportional zur Ist-Sollwertabweichung (Bach, 2009, S. 306).

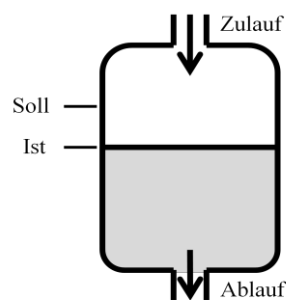


Abbildung 4.3. Kesselmodell nach Dörner (2008)

Wird der Behälter gefüllt, findet eine Bedürfnisbefriedigung statt, welche wiederum ein sogenanntes Lustsignal auslöst. Kommt es jedoch dazu, dass aus dem Behälter zusätzlich etwas zum normalen Verlust geleert wird, wird das als Unlustsignal registriert.

Nach Dörner (2008) zählen zum Bedürfnissystem des Menschen insgesamt fünf Grundbedürfnisse:

1. Die **existentziellen Bedürfnisse**, die dazu dienen sollen, die physische Existenz zu sichern. Zu den Bedürfnissen gehören Hunger, Durst und Schmerzvermeidung sowie die Vermeidung von allem, was eine Gefahr für die physische Integrität darstellt.
2. Ein Bedürfnis nach **Affiliation**, was ein soziales Bedürfnis nach Gruppeneinbindung und Interaktion mit anderen Individuen der gleichen Spezies darstellt. Es beinhaltet z. B. das Streben nach positiven Rückmeldungen anderer Individuen, sogenannten L-Signalen (Legitimitätssignale).
3. Das Bedürfnis nach **Sexualität**, welches zwar nicht für das eigene Überleben notwendig ist, aber für den Erhalt der eigenen Spezies.
4. Ein Bedürfnis nach **Bestimmtheit**, das ein („kognitives“) Bedürfnis nach einem hohen Ausmaß an Verständnis und Vorhersagbarkeit der Umwelt und der Effekte des eigenen Handelns ist.
5. Das Bedürfnis nach **Kompetenz**, ein weiteres kognitives Bedürfnis, bei dem es um „Wirksamkeit“ geht. Dieses Bedürfnis wird befriedigt, wenn der Handelnde weiß, dass er auf sich und seine Umwelt verändernd einwirken kann.

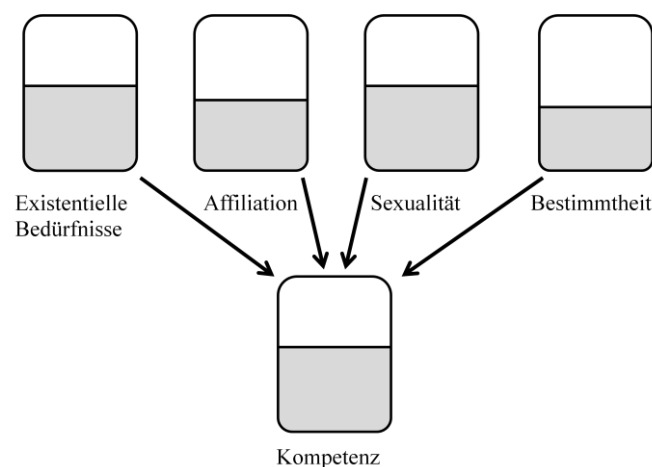


Abbildung 4.4. Die fünf Grundbedürfnisse im Kesselmodell nach Dörner (2008). Bei Befriedigung irgendeines der existenziellen Bedürfnisse sowie der Bedürfnisse nach Affiliation, Sexualität und Bestimmtheit wird auch gleichzeitig das Kompetenzbedürfnis befriedigt.

Wie in Abbildung 4.4 schematisch dargestellt ist, sind alle Bedürfnisse mit dem Kompetenzbedürfnis verbunden. Dörner (2002) nimmt an, dass bei Befriedigung irgendeines Bedürfnisses auch gleichzeitig das Kompetenzbedürfnis befriedigt wird, dadurch dass Lustsignale ausgelöst werden und als Effizienzsignale den Kompetenzkessel füllen. Für PsiCasso sind nur die beiden Bedürfnisse Bestimmtheit und Kompetenz entscheidend, da sie wesentlich zur Entstehung von ästhetischem Gefallen beitragen. Der Vollständigkeit halber

werden hier alle fünf Grundbedürfnisse aufgezählt. Demnach ergeben sich zwei weitere Annahmen:

Das Bedürfnissystem besteht aus einer endlichen Menge von vordefinierten Bedürfnissen.

Es gibt drei Kategorien von Bedürfnissen: Physiologisch, sozial und kognitiv (Bach, 2009, S. 306).

4.2.2 Bestimmtheit

Ein autonomes System besitzt ein Bedürfnis nach Unbestimmtheit. Um die Unbestimmtheit bei der Einschätzung von Situationen, Objekten und Erwartungen zu reduzieren, erkundet es unbekannte Objekte und Zustände (Dörner, 2008, S. 359). Im Folgenden werden mögliche Ereignisse genannt, die Unbestimmtheit erzeugen (Bach, 2009):

- Der Wahrnehmungsprozess kann ein Objekt, eine Episode oder eine Situation nicht identifizieren.
- Die Erwartungen stimmen nicht mit der Situation überein.

Nach Bach (2009) wird das Bedürfnis nach Bestimmtheit durch sogenannte Bestimmtheits-signale befriedigt, die aus Bestimmtheitsereignissen resultieren:

- Objekte oder Situationen werden komplett identifiziert.
- Erwartungen werden erfüllt.

Wie alle anderen bedürfnisbefriedigenden Ereignisse, erzeugen auch Bestimmtheitsereignisse Lustsignale.

4.2.3 Kompetenz

Die allgemeine Kompetenz eines PSI-Agenten spiegelt die Fähigkeit wieder, Hindernisse zur Befriedigung von Bedürfnissen zu überwinden. Die Hindernisse können als Quelle von Unlustsignalen betrachtet werden und das Überwinden der Hindernisse repräsentiert Lustsignale. Daher wird die allgemeine Kompetenz mithilfe des Lust-Unlustpegels berechnet (Dörner, 2008, S. 406–413). Die Kompetenz von PsiCasso wird anhand folgender Formel berechnet (adaptiert nach Dörner et al., 2002, S. 90):

$$KI := KI + LUL$$

KI ist der Inhalt des Kompetenzkessels und variiert zwischen 0 und 1. *LUL* ist ein Lust-Unlustsignal und variiert zwischen -1 und 1. Eine Berechnung findet immer dann statt, wenn sich die Lust- oder Unlustsignale ausgelöst werden.

4.2.4 Das Lust-Unlustsystem

Im vorigen Abschnitt wird bereits angedeutet, dass bei einer Reduzierung eines Bedarfs Lust entsteht und bei der Steigerung eines Bedarfs Unlust ausgelöst wird. Nach Dörner et al. (2002) sind sogenannte Lust- und Unlustsignale Indikatoren für die Kompetenz. Der Ist-Sollwertausgleich eines Bedürfnisses bedeutet nach den Autoren, dass das autonome System die Fähigkeit besitzt, das entsprechende Bedürfnis zu befriedigen. Damit stellt diese Fähigkeit ein Zeichen für die Kompetenz des autonomen Systems dar. Umgekehrt bedeutet die Bedarfssteigerung, dass es nicht in Befähigung des Systems liegt, dies zu verhindern und deutet auf mangelnde Kompetenz hin. Für die Bestimmung eines Lust-Unlustsignals *LUL* von PsiCasso wird folgende Formel verwendet (adaptiert nach Dörner et al., 2002, S. 91):

$$LUL := (BI_{j-1} - BI_j) + Kg$$

Hierbei stellt BI_{j-1} den Inhalt des Bestimmtheitskessels zum Zeitpunkt $j-1$ dar. Kg soll ein Kompetenzgewicht darstellen und proportional zum Kompetenzbedarf sein. Je geringer die Kompetenz ist, desto größer soll Kg sein (Dörner et al., 2002, S. 91).

Mithilfe des Lust-Unlust-Systems könnte man feststellen, ob dem Agenten etwas gefällt. Lust-Unlustsignale können verwendet werden, um das Gefallen zu operationalisieren. Daher soll das Lust-Unlust-System ebenfalls eine wichtige Komponente im Motivationssystem von PsiCasso sein. Eine weitere Annahme lautet folgendermaßen:

Eine Bedürfnisveränderung des Systems äußert sich in einem Lust- oder Unlustsignal. Die Stärke des Signals ist proportional zum Ausmaß der Bedürfnisveränderung innerhalb eines kurzen Zeitintervalls (Bach, 2009, S. 307).

Als Operationalisierung des Gefallens könnte z. B. gelten: Je größer das Lustsignal ist, desto größer ist das Gefallen. Und umgekehrt soll demnach gelten: Je größer das Unlustsignal ist, umso größer ist das Missfallen.

4.2.5 Motivator

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben wird, signalisiert ein Bedürfnis, dass ein Bedarf bestimmten Ausmaßes vorhanden ist. In der PSI-Theorie bedeutet das konkret, dass ein Motivator (Dörner, 2008, S. 308–309) aktiv wird. Nach Bach (2009) besteht ein Motivator aus:

- Einem Bedarfsmelder, der aktiviert wird, wenn eine Ist-Sollwertabweichung entsteht und es keine Möglichkeit mehr gibt, die Abweichung automatisch auszugleichen. Die Intensität der Meldung sollte proportional zur Ist-Sollwertabweichung sein.
- Einem Bedarfssensor, der mit dem Lust-Unlust-System verbunden ist, sodass bei einer steigenden Ist-Sollwertabweichung Unlust und bei einer reduzierten Ist-Sollwertabweichung Lust ausgelöst wird. Die ausgelöste Unlust bzw. Lust sollte proportional zur Größe des Verlusts bzw. Gewinns sein.
- Einem Assoziator (Teil des Lust-Unlust-Systems), der eine Verbindung zwischen dem Bedarfsmelder und einer Situation, die zu einem aversiven oder appetitiven Ziel führt, herstellt. Die Stärke der Verbindung sollte proportional zur Stärke des Lust- bzw. Unlustsignal sein. Es können natürlich mehrere Verbindungen entstehen, da es mehrere Wege gibt, eine Ist-Sollwertabweichung auszugleichen bzw. zu erhöhen.

4.2.6 Emotionen als Verhaltensmodulation

Gängige Definitionen beschreiben Emotionen als ein getrennt von anderen kognitiven Funktionen auftretendes Teilsystem. So werden Emotionen z. B. als bewertende Stellungnahmen zu Ereignissen und deren Bedeutung gesehen. „Sie konfigurieren und synchronisieren verschiedene psychische und physische Teilsysteme [...], um möglichst schnell und möglichst optimal auf die neuen Situationsumstände reagieren zu können“ (Sokolowski, 2002, S. 374).

Im Gegensatz dazu sind nach der PSI-Theorie von Dörner (2008) Emotionen mehr eine Beschreibung der Art und Weise, wie kognitive Prozesse ablaufen. Sie beeinflussen das Verhalten zwar, sind aber kein eigenständiges oder separates Modul. Sie stellen eher eine Konstellation von Parametern dar, die das Verhalten und andere kognitive Prozesse modulieren. „Ein Gefühl ist eine bestimmte Modulation des Verhaltens und der inneren Prozesse, die durch eine bestimmte Messung der Kompetenz oder der Bestimmtheit determiniert wird“ (Dörner et al., 2002, S. 196–197).

Emotionen sind kein unabhängiges Subsystem, sondern ein Aspekt der Art und Weise, wie Verhalten und kognitive Prozesse stattfinden. Daher können Emotionen nicht ohne den Kontext der Kognition verstanden werden (Bach, 2009, S. 308).

Nach der PSI-Theorie (Dörner, 2008) existieren insgesamt vier Modulationsparameter:

- Die **Aktivierung** oder das **Arousal** bestimmen die Aktionsbereitschaft des Agenten.
- Bestimmte Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse werden von dem **Auflösungsgrad** beeinflusst.
- Die **Konzentration** oder **Selektionsschwelle** bestimmt, wie leicht das System zwischen miteinander konkurrierenden Absichten wechselt.
- Das **Sicherungsverhalten** kontrolliert, wann das System reflektiert oder sich orientiert.

Für PsiCasso sind nur die beiden Parameter Arousal und Auflösungsgrad wichtig, da sie die Wahrnehmung direkt beeinflussen. Das Sicherungsverhalten spielt dann eine Rolle, wenn der Agent mit einer Umwelt interagiert und kognitive Prozesse zur Handlungsplanung besitzt. Wie am Anfang dieses Kapitels begründet wird, interagiert PsiCasso nicht mit Umweltreizen und ist nicht zur Handlungsplanung fähig. Es soll lediglich imstande sein, Umweltreize aufzunehmen. Desweiteren wird die Selektionsschwelle nicht benötigt, weil das einzige Motiv von PsiCasso während der Simulation darin besteht, sich auf das präsentierte Bildmaterial zu konzentrieren. Daraus folgt eine weitere Annahme:

Kognitive Prozesse werden von Parametern moduliert. Die Modulatoren beeinflussen bestimmte Verhaltenstendenzen (z. B. Aktionsbereitschaft über das Arousal), die Stabilität von aktivem Verhalten bzw. ausgesuchten Zielen (Konzentration/ Selektionsschwelle), die Intensität von Orientierungsverhalten (Sicherungsverhalten) und die Weite und Tiefe der Aktivierungsausbreitung bei Wahrnehmungsprozessen, Gedächtnisabrufen und Planungsprozessen (Aktivierung/Arousal und Auflösungsgrad (Bach, 2009, S. 308).

Arousal

Der Parameter Arousal bestimmt das Ausmaß an Handlungsbereitschaft. Ein erhöhtes Arousal führt dazu, dass die Dringlichkeit ansteigt, in einer bestimmten Situation zu reagieren und Entscheidungen zu treffen. Die Aktivierungsausbreitung in Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozessen wird dadurch gehemmt, woraus eine geringere Verarbeitungstiefe bzw.

ein geringerer Auflösungsgrad resultiert. Dieser geringe Auflösungsgrad ermöglicht schnelles Reagieren. Der Auflösungsgrad steht in einem umgekehrten Verhältnis zur Arousal, was in einer Funktion ausgedrückt folgendermaßen aussieht (Dörner et al., 2002, S. 217):

$$\text{Auflösungsgrad} = 1 - \sqrt{\text{Arousal}}$$

Der Zusammenhang zwischen beiden Parametern ist nicht linear. Ein starker Anstieg der Arousal im unteren Bereich hat nur einen geringen Einfluss auf den Auflösungsgrad, während ein Anstieg im oberen Bereich zu einer starken Senkung des Auflösungsgrads führt (Dörner et al., 2002, S. 217). Das Arousal ist „im Wesentlichen von der Summe der Bedürfnisstärken abhängig“ (Dörner et al., 2002, S. 308). Sobald sich die Bedürfnislage ändert, berechnet sich ein neuer Wert der Arousal folgendermaßen.

$$\text{Arousal} := \text{Arousal} + (\max - \text{Arousal}) \times \text{Gewicht} \times \text{Addendum}$$

Addendum bedeutet die Zunahme der Gesamtbedürfnisstärke. Die Berechnung (max-x) soll sicherstellen, dass der neue Wert des Arousals niemals größer als der Maximalwert wird. Das Gewicht soll die Gewichtung der Veränderung der Gesamtbedürfnisstärke bestimmen. Eine Abnahme der Arousals wird analog mit der folgenden Formel berechnet (Dörner et al., 2002, S. 308):

$$\text{Arousal} := \text{Arousal} - (\text{Arousal} - \min) \times \text{Gewicht} \times \text{Minuendum}$$

Das Ausmaß der Handlungsbereitschaft bzw. des Arousals ist für PsiCasso auf den ersten Blick nicht wichtig, da es weder planen noch Entscheidungen treffen kann. Die Handlungsbereitschaft hat jedoch einen Einfluss auf die Wahrnehmung und das Gedächtnis. Eine geringere Verarbeitungstiefe von externen Reizen beispielsweise, die aus einer höheren Handlungsbereitschaft resultiert, sorgt für eine weniger elaborierte Wahrnehmung und könnte daher Auswirkungen auf das Gefallen von Objekten haben.

Auflösungsgrad

Der Auflösungsgrad beschreibt „das Ausmaß der Auffächerung eines assoziativen Umfeldes“ (Dörner et al., 2002, S. 213) oder die Genauigkeit interner Vergleichsprozesse (Dörner et al., 1998). Assoziative Umfeldere bezeichnen die mit einem Gedächtnisinhalt unmittelbar assoziierten Inhalte. Je höher der Auflösungsgrad, desto größer ist die Aktivierungsausbreitung und umso detaillierter und tiefer erfolgt die Verarbeitung von Informationen.

Bedeutend für PsiCasso ist, dass ein gesenkter Auflösungsgrad mit *Überinklusivität* verbunden ist, was zur Folge hat, dass die Ähnlichkeit von Objekten überschätzt wird (Dörner et al., 2002, S. 213). Umgekehrt können Objekte bei einem hohen Auflösungsgrad besser unterschieden werden.

4.3 Gedächtnis

Da MINERVA-2 als Gedächtnis von PsiCasso dienen soll, wird in diesem Abschnitt die Funktionsweise des Modells beschrieben. Aufgrund der Fähigkeit, mehrere empirisch untersuchte Gedächtniseffekte abzubilden, ist MINERVA-2 gut für die Simulation der ästhetischen Wahrnehmung geeignet. Folgende Effekte können u. a. von dem Modell abgebildet werden:

- **Häufigkeitseinschätzungen:** Die Fähigkeit, einzuschätzen, wie oft ein bestimmtes Ereignis aufgetreten ist.
- **Wiedererkennungseinschätzung:** Ist ein bestimmtes Ereignis in der Vergangenheit schon einmal aufgetreten?

Darüber hinaus besteht ein weiteres für die PsiCasso-Architektur wichtiges Merkmal von MINERVA-2 darin, dass es Möglichkeiten zur Erweiterung bietet. Die Repräsentationen von Ereignissen lassen sich beliebig ergänzen. So haben beispielsweise Dougherty, Gettys und Ogden (1999) die MINERVA-Repräsentationen (sogenannte Tracevektoren) mit Hypothesen- und Kontextrepräsentationen in ihrem Modell MINERVA-DM (DM: Decision Making) erweitert, um Phänomene aus dem Bereich der Entscheidungsfindung und Wahrscheinlichkeitsurteile zu modellieren. Demnach wäre MINERVA-2 leicht mit dem PSI-Modell zu kombinieren, indem die Tracevektoren mit motivationalen Repräsentationen ergänzt werden.

4.3.1 MINERVA-2

Hintzmans (Hintzman, 1984) Gedächtnismodell MINERVA-2 besteht aus einer großen Ansammlung von episodischen Gedächtnisrepräsentationen (Traces), von denen jede ein Abbild eines Ereignisses oder einer Erfahrung ist. Das Modell ist ein Ansatz, um episodisches und generisches Gedächtnis in nur einem System miteinander zu vereinen. Nach dem Ansatz werden nur episodische Inhalte im Gedächtnis abgelegt. Bei Wiederholungen bestimmter Ereignisse wird die Erinnerungsleistung nicht durch die Veränderung des entsprechenden Traces umgesetzt, sondern durch redundante Abbildungen der Ereignisse, indem Kopien der

Ereignisse erzeugt werden. Jedes Ereignis wird als eigener neuer Trace gespeichert, ganz egal, ob bereits ein gleicher Trace im Gedächtnis vorhanden ist oder ein ganz ähnliches Ereignis schon einmal gespeichert wurde.

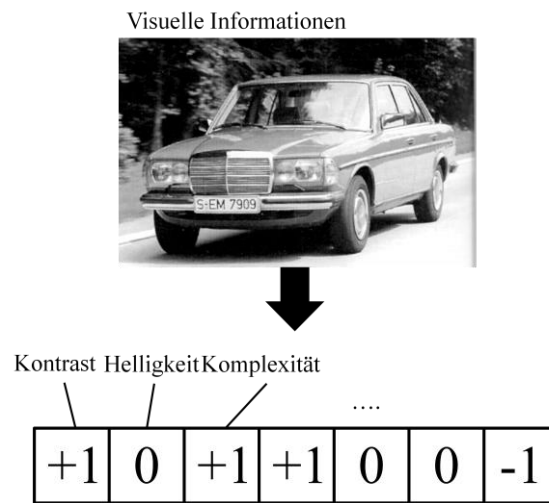


Abbildung 4.5. Bildung eines Traces. Visuelle Informationen eines Ereignisses werden als Konfiguration von Eigenschaften, wie z. B. Kontrast, Helligkeit und Komplexität gespeichert.

Traces sind Konfigurationen von primitiven Eigenschaften, die beispielsweise aus einfachen emotionalen Tönungen und modalitätsspezifischen sensorischen Merkmalen des wahrgenommenen Objekts bestehen, wie z. B. Farben oder Gerüche. Sie sind im Gedächtnis als Vektoren repräsentiert, die Werte für verschiedene Merkmale beinhalten. Jedes Merkmal kann die Werte +1, -1 oder 0 annehmen. Ein Wert von +1 auf der Position j bedeutet Erregung, ein Wert von -1 Hemmung und eine 0 bedeutet, dass entweder das Merkmal irrelevant ist oder nicht gespeichert wurde. In Abbildung 4.5 ist ein Beispiel für die Bildung eines Tracevektors dargestellt. Darüber hinaus ergeben sich folgende Annahmen:

Nur episodische Inhalte, sogenannte Traces werden im Gedächtnis gespeichert (Neath & Surprenant, 2003, S. 375).

Wiederholungen eines Ereignisses erzeugen mehrere Traces (Neath & Surprenant, 2003, S. 375).

Erst zum Zeitpunkt des Abrufs werden Kategorien und abstraktes Wissen gebildet. Nach Hintzman (1986, S. 423) wird demzufolge kein aufwendiges System benötigt, welches entscheiden soll, wann und wie Gedächtnisstrukturen verändert, umorganisiert oder verworfen werden. Findet ein Gedächtnisabruf statt, wird ein Probevektor (Abrufreiz) von dem primären Gedächtnis an das sekundäre Gedächtnis geschickt. Anschließend werden alle

vorhandenen Traces gleichzeitig mit dem Probevektor verglichen und jeder Trace entsprechend seiner Ähnlichkeit zur Probe aktiviert (Neath & Surprenant, 2003, S. 375). Die Ähnlichkeit von Probe und Trace berechnet sich aus:

$$S_i = \sum_{j=1}^n P_j T_{i,j} \frac{1}{N_R}$$

Hierbei soll P_j der Wert von Merkmal j in der Probe sein, $T_{i,j}$ der Wert von Merkmal j in Trace i und N_R die relevanten Merkmale – die Anzahl der Merkmale, die entweder in der Probe oder in dem Trace nicht 0 sind. Das Aktivierungsniveau A_i wird aus der dritten Potenz des Ähnlichkeitswerts berechnet:

$$A_i = S_i^3$$

Dadurch, dass der Ähnlichkeitswert mit Drei potenziert wird, behält die Aktivierung das gleiche Vorzeichen wie die Ähnlichkeit. Negative Ähnlichkeitswerte schlagen sich daher in negativen Aktivierungswerten nieder. Darüber hinaus hat eine geringe Ähnlichkeit zwischen Probe und Trace im Verhältnis zu einer hohen Ähnlichkeit keine so große Auswirkung auf die Aktivierung. Nachdem die Ähnlichkeit zwischen Probe und Traces sowie die Aktivierung der Traces ausgerechnet worden sind, wird ein Echo, das sich aus allen Reaktionen der Traces aufsummiert, an das primäre Gedächtnis zurückgeliefert. Das Echo hat zwei Eigenschaften, es liefert erstens eine Intensitätswert und zweitens einen Inhalt. Die Echointensität wird berechnet, indem die Aktivierungswerte aller Traces zusammen addiert werden:

$$I = \sum_{i=1}^M A_i$$

Der Inhalt des Echos, C_j , besteht aus dem Aktivierungsmuster über alle Merkmale hinweg. Die Aktivierung eines bestimmten Merkmals, j , im Echo wird gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$C_j = \sum_{i=1}^M A_i T_{i,j}$$

Wie man an den beiden Gleichungen sehen kann, wird der Einfluss eines Traces auf das Echo durch die Aktivierungsstärke bestimmt. Je ähnlicher ein Trace zur Probe ist, desto größer fällt ein Trace bei der Bildung des Echos ins Gewicht. Dadurch haben nur die ähnlichen Traces

einen wesentlichen Einfluss auf den abgerufenen Inhalt. Auf diese Weise findet beim Wissensabruf eine Abstraktion derjenigen Traces statt, die dem Abrufreiz ähnlich sind. Es ist jedoch nicht möglich, einzelne Traces abzurufen, da ein solcher Prozess nicht existiert.

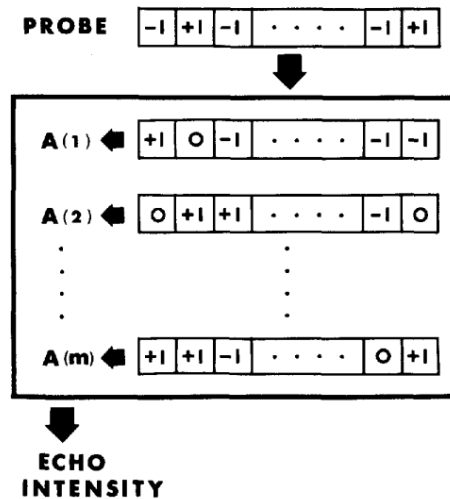


Abbildung 4.6. Aktivierung der Traces. Jeder Trace wird entsprechend seiner Ähnlichkeit zur Probe aktiviert. Merkmalswerte $[j = 1 \dots m]$ sind von links nach rechts aufgelistet, und Traces $[i = 1 \dots m]$ von oben nach unten. Die Aktivierung $A(i)$ von Trace i ist abhängig von den Merkmalen, die er mit der Probe teilt. Die Echointensität ist die Summe aller Aktivierungswerte. (Hintzman, 1986, S. 413)

Lernen besteht nach dem Modell darin, Merkmale einer Erfahrung oder eines Ereignisses in einen Trace zu kopieren. In MINERVA-2 findet das Lernen probabilistisch statt: Jedes Merkmal wird mit einer Wahrscheinlichkeit L enkodiert. Im Falle einer Nichtkodierung wird für das Merkmal einfach 0 eingesetzt. Vergessen wird nach dem umgekehrten Prinzip behandelt: Jedes Merkmal, das nicht gleich 0 ist, hat die Wahrscheinlichkeit von F , dass anstelle der -1 oder $+1$ eine 0 eingesetzt wird. Hierbei handelt es sich demnach um komplementäre Prozesse, Lernen mit $L = .25$ wäre in dem Effekt gleichbedeutend wie Lernen mit $L = 1.00$ in Kombination von Vergessen mit $F = .75$ (Hintzman, 1986, S. 413). Schließlich ergeben sich folgende Annahmen:

Bei einem Gedächtnisabruf werden alle Traces gleichzeitig mit einem Abrufreiz (Probe) verglichen (Neath & Surprenant, 2003, S. 375).

Jeder Trace wird entsprechend seiner Ähnlichkeit zum Abrufreiz aktiviert (Neath & Surprenant, 2003, S. 375).

Das Gedächtnis verrechnet alle aktivierten Traces und liefert sie als Echo zurück (Neath & Surprenant, 2003, S. 375).

4.4 Hypothesengesteuerte Wahrnehmung

Der HyPercept-Prozess (Abkürzung für „Hypothesengeleitete Wahrnehmung“) ist nach der PSI-Theorie ein basaler Prozess der Wahrnehmung, der es ermöglicht, Objekte, Situationen und andere Reizkonfigurationen zu erkennen. Nach diesem Mechanismus werden bei der Identifizierung von Reizen Hypothesen generiert, die anschließend mit Gedächtnisinhalten verglichen werden. Der Prozess baut auf dem Prinzip des Neisser-Zyklus⁵ (Neisser, 1974) auf, der zu einem generellen Prinzip der sowohl top-down- als auch bottom-up-gerichteten Wahrnehmung erweitert wird. Bach (2009, S. 105) fasst die Hauptidee von HyPercept folgendermaßen zusammen:

- Situationen und Objekte sind immer als hierarchische Schemata repräsentiert, die aus Referenzen zu sensorischem Input bestehen.
- Low-level Reize aktivieren bottom-up die Schemata, zu denen sie selbst gehören. Die aktivierten Schemata mit all ihren Elementen stellen die Hypothese dar.
- Anschließend wird versucht, Subelemente der bereits bestätigten Elemente der aktivierten Hypothesen top-down zu überprüfen, was entweder zur Bestätigung weiterer Subhypothesen oder zur Ablehnung der aktuellen Hypothese führt.
- Das Ergebnis des Prozesses ist die am stärksten aktivierte bzw. am besten passende Hypothese.
- Zu jedem Zeitpunkt hemmt oder aktiviert das System mehrere hierarchische Schemahypothesen vor, die z. B. auf dem Kontext, vorherigem Lernen, aktuellem Low-level-Input oder motivationalen Prozessen basieren. Auf diese Weise wird der Wiedererkennungsprozess beschleunigt, da der Suchraum für die passenden Schemata eingeschränkt wird.

Die Wahrnehmung basiert auf konzeptuellen Hypothesen, die die Erkennung von Objekten, Situationen und Ereignissen steuern. Die hypothesengesteuerte Wahrnehmung ("HyPercept") wird als bottom-up-gerichteter (datengesteuerter und kontextabhängiger) Prozess verstanden, der eine top-down-gerichtete Überprüfung mit einbezieht (Bach, 2009, S. 306).

Der HyPercept-Prozess kann durch Emotionen moduliert werden. Da es eine lange Zeit in Anspruch nehmen kann bis HyPercept ein komplexes Schema abgearbeitet hat, ist es in manchen Situationen notwendig, den Prozess zu beschleunigen, um z. B. eine schnelle

⁵ Eine basale Erkennungsprozedur.

Reaktion hervorzurufen. Wird der Prozess jedoch beschleunigt, nimmt die Genauigkeit der Strukturerkennung ab. Eine Situation mit hoher Dringlichkeit entsteht, wenn der Bedürfnisdruck ansteigt und eine Reaktion erforderlich ist, um den Bedürfnisdruck zu verringern. Mit steigendem Bedürfnisdruck nimmt die Aktivierung automatisch zu, was wiederum dazu führt, dass der Auflösungsgrad reduziert wird. Der Auflösungsgrad ist also ein Einflussfaktor für die Genauigkeit und Geschwindigkeit der Erkennungsprozedur. Indem der Auflösungsgrad verringert wird, ist es möglich, den Prozess zu beschleunigen (Dörner, 2008, S. 148). Hieraus folgt eine weitere Annahme:

Wahrnehmung unterliegt der emotionalen Modulation.

Der HyPercept-Prozess ist für PsiCasso ein weiterer fundamentaler Bestandteil, da er für das Erkennen von Reizkonfigurationen zuständig ist. Wie in Kapitel 1.2.4 beschrieben, kommt es nach Dörners Verständnis bei der ästhetischen Wahrnehmung darauf an, Strukturen von Reizkonfigurationen sowohl auf syntaktischer Ebene als auch auf semantischer Ebene zu entschlüsseln. Gelingt die Erkennung auf einer oder auch beiden Ebenen werden Bestimmtheitssignale erzeugt, welche wiederum Lustsignale auslösen, mit denen das Gefallen von PsiCasso operationalisiert werden soll. Durch den HyPercept-Prozess bekommt der Prozess des Betrachtens einer Reizkonfiguration eine wahrnehmungstheoretische Basis, die sich leicht in eine kognitive Architektur integrieren lässt. Der Prozess lässt sich nicht in der oben beschriebenen Form auf Basis von MINERVA-2 umsetzen. Da während des Prozesses hierarchische Schemata abgearbeitet werden und MINERVA-2 nicht mit solchen Schemata arbeitet, muss der Prozess angepasst werden. Zur Untersuchung der Dynamik des Gefallens reicht es aus, dass der HyPercept-Prozess implementiert wird, indem das eigentliche Erkennen zunächst nicht umgesetzt wird, sondern lediglich geprüft wird, wie vertraut die betrachtete Reizkonfiguration ist. Nach Neath und Suprenant (2003, S. 376) bietet sich die Berechnung der Echointensität als Vertrautheitsmaß an. Wie im vorigen Abschnitt dargestellt wird, spiegelt die Echointensität wider, wie viele passende Gedächtnisinhalte zu einer betrachteten Reizkonfiguration vorhanden sind.

4.5 Integration von MINERVA-2 und PSI

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie die beiden Systeme PSI und MINERVA-2 ineinander greifen könnten.

4.5.1 Motivationale Repräsentation in MINERVA-2

Raab et al. (2011b, S. 4) schlagen vor, motivationale Zustände im Sinne Dörners PSI-Theorie als zusätzliche Vektoren in einem auf MINERVA-2 basierenden Gedächtnis zu repräsentieren. Zudem sollen die einzelnen Traces in einer Protokollkette miteinander verbunden werden.

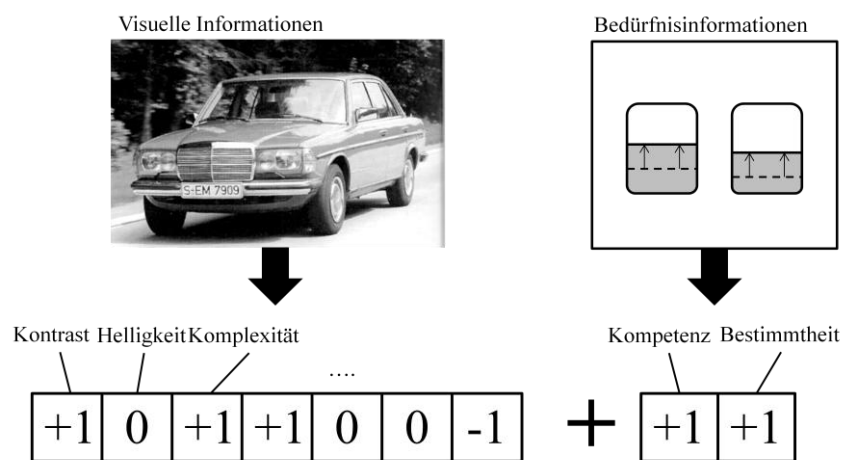


Abbildung 4.7. Bildung eines Traces aus visuellen und motivationalen Informationen.

Bei der Bildung eines Traces werden nach diesem Modell motivationale Informationen ebenso wie visuelle Informationen berücksichtigt. Wird beispielsweise bei der Betrachtung eines Autos der Bestimmtheits- und Kompetenzbedarf reduziert, so werden diese Merkmale der Bedarfsreduzierung als Kontextinformationen ergänzend zu den visuellen Informationen gespeichert. Durch diese Art der Repräsentation können bei einem Gedächtnisabruf ganz einfach kontextabhängige Informationen abgerufen werden. So kann z. B. bei einer Bedarfsmeldung eines bestimmten Bedürfnisses leicht ein Ziel zur Bedürfnisreduzierung abgerufen werden, indem die bedürfnisrelevanten Informationen als Probe ins Gedächtnis geschickt werden. Daraufhin werden Traces zurückgeliefert, die durch die motivationalen Informationen am stärksten aktiviert werden. Die abgerufenen Traces stellen dann (z. B. visuelle) Informationen über ein mögliches Ziel zur Befriedigung des Bedürfnisses bereit. Umgekehrt würden bedürfnisrelevante Informationen zurückgeliefert werden, wenn visuelle Informationen als Probe ins Gedächtnis geschickt werden und so beispielsweise an eine vergangene Bedürfnisbefriedigung erinnern. Hieraus folgt eine zusätzliche Annahme:

Ereignisse werden im Gedächtnis mit der motivationalen Relevanz assoziiert.

4.5.2 Emotionale Einflüsse auf Gedächtnisoperationen

Der Auflösungsgrad hat einen Einfluss auf die Genauigkeit interner Vergleichsprozesse. Es werden zwei Wege der emotionalen Modulation von Gedächtnisoperationen durch den Auflösungsgrad in PsiCasso integriert:

1. Ein geringer Auflösungsgrad beeinflusst z. B. die *Enkodierung* von Informationen in Traces, indem manche Stellen mit Nullen besetzt werden. Eine Null in einem Trace bedeutet, dass die Information für das jeweilige Merkmal nicht bekannt oder irrelevant ist. Somit bewirkt ein geringer Auflösungsgrad, dass die Speicherung von Informationen zu einem Ereignis ungenau wird. Umgekehrt führt ein hoher Auflösungsgrad dazu, dass nur wenige Nullen in dem Trace vorhanden sind. Der Lernparameter des MINERVA-2-Modells ist dazu geeignet, den Einfluss des Auflösungsgrades umzusetzen.
2. Ebenso führt ein geringer Auflösungsgrad z. B. dazu, dass beim *Wissensabruf* manche Stellen der Probe mit Nullen belegt werden. Dadurch, dass die mit Null besetzten Merkmale beim Vergleich mit anderen Inhalten nicht beachtet werden, wird der Abruf von Gedächtnisinhalten ungenau. Umgekehrt bewirkt ein hoher Auflösungsgrad, dass der Abruf genauer wird, da nur wenige Nullen in der Probe vorhanden sind.

Mit diesen Mechanismen werden die Effekte erzielt, die der Auflösungsgrad nach Dörner bewirken soll. Bei niedrigem Auflösungsgrad wird die Ähnlichkeit von Objekten überschätzt. Ist der Auflösungsgrad dagegen hoch, nimmt PsiCasso die Objekte differenzierter wahr.

5 Implementierung eines Prototyps von PsiCasso

Nachdem die funktionalen Anforderungen für eine kognitive Architektur ausreichend analysiert sind, geht es nun darum, ein passendes Architekturdesign zu entwickeln, das auch wichtige nichtfunktionale Anforderungen erfüllt. Im Entwicklungsprozess einer Software ist die Entscheidung über das Design einer der wichtigsten und kritischsten Punkte (Balzert, 2011). „Vereinfacht ausgedrückt, legen funktionale Anforderungen fest, *was* das Softwareprodukt tun soll, während die nichtfunktionalen Anforderungen spezifizieren, *wie* es arbeiten soll.“ (Balzert, 2011, S. 109) Da im vorherigen Kapitel beschrieben wird, was das System leisten soll, wird in diesem Kapitel festgelegt, wie das System arbeiten soll. Die nichtfunktionalen Anforderungen haben in der Regel Auswirkungen auf die gesamte Softwarearchitektur. Zu den wichtigsten Anforderungen eines Softwaresystems gehören (Balzert, 2011, S. 111):

- Leistung (performance)
- Zuverlässigkeit (reliability)
- Gebrauchstauglichkeit (usability)
- Sicherheit (security)
- Wartbarkeit (maintainability)

Natürlich sollen möglichst alle Anforderungen bei der Implementierung von PsiCasso berücksichtigt werden. Besonderer Wert soll auf die Wartbarkeit gelegt werden. Während des Entwicklungsprozesses von PsiCasso und auch darüber hinaus sollen mit geringem Aufwand und ohne große Anpassungen der Gesamtstruktur, Änderungen am System vorgenommen werden können.

Eine weitere Herausforderung ist sicherlich, die sehr kompakte und nicht-modulare PSI-Theorie von Dörner (2008) in eine Softwarearchitektur umzusetzen, die durch einen modularen Aufbau möglichst viele Vorteile der objektorientierten Programmierung ausschöpfen kann. Die PSI-Theorie zeichnet sich besonders dadurch aus, dass die einzelnen Komponenten psychischen Geschehens Motivation, Emotionen, Gedächtnis, Kognition und Wahrnehmung nur in einem Gesamtsystem funktionieren und nicht getrennt voneinander existieren können. Zum Beispiel hat PsiCassos Wahrnehmung Auswirkungen auf seine Bedürfnisse und diese beeinflussen seine Emotionen, welche wiederum den Auflösungsgrad seiner Wahrnehmung bestimmen; d. h. die Systemkomponenten sind sehr eng miteinander verknüpft. Bei der Umsetzung soll darauf geachtet werden, ein modulares Design zu

entwickeln und die Systemkomponenten trotzdem eng miteinander zu vernetzen. Es ist besonders wichtig von einem modularen Design Gebrauch zu machen, um die oben geschilderten nichtfunktionalen Anforderungen zu erfüllen. Zusammenfassend sollen folgende Ziele bei der Konzeption einer Softwarearchitektur verfolgt werden:

- Die Architektur soll eine möglichst hohe Flexibilität bieten. Ziel ist es, eine Basisarchitektur zu erschaffen, die viele Möglichkeiten bietet, im Nachhinein strukturelle Anpassungen vorzunehmen. Komponenten sollen austauschbar und erweiterbar sein, um nach eventuellen Veränderungen der Annahmen des psychologischen Modells mit geringem Aufwand die Implementierung des Modells anpassen zu können. Darüber hinaus sollen nicht nur einzelne Bestandteile erweitert werden können, sondern die gesamte Architektur soll die Möglichkeit bieten, neue Komponenten (z. B. kognitive Mechanismen, Lernmechanismen) mit hinzuzunehmen. Zudem sollen zusätzliche Bestandteile, z. B. grafische Oberflächen zur Beobachtung und Steuerung der Simulation integriert werden können. Desweiteren soll es möglich sein, PsiCasso als Agenten in eine Umwelt zu integrieren, mit der es interagieren kann.
- Die psychologische Validität darf bei der Konzeption nicht aus dem Fokus geraten. Dabei soll sich das Architekturdiseign streng nach den theoretischen Vorgaben richten, die im vorigen Kapitel geschildert wurden.

Um diese Ziele zu erreichen, wird bei der Konzeption sehr großen Wert auf einen modularen und gleichzeitig vernetzten Aufbau gelegt. Dazu werden allgemein bekannte und anerkannte Entwurfsmuster verwendet. Zur Veranschaulichung von Klassenstrukturen werden UML-Klassendiagramme eingesetzt.

5.1 Die Softwarearchitektur von PsiCasso

Um eine hohe Wartbarkeit der Softwarearchitektur zu erreichen, ist es wichtig, möglichst zirkuläre Abhängigkeiten zwischen Paketen zu vermeiden. Bis auf zwei Ausnahmen besteht die Architektur aus einfach gerichteten Abhängigkeitsbeziehungen. Diese beiden Ausnahmen sind die Beziehungen zwischen den Bedürfnissen (needs; Abbildung 5.1) und der Wahrnehmung (perception; Abbildung 5.1) sowie zwischen der Wahrnehmung und dem Gedächtnis (memory; Abbildung 5.1). Normalerweise sollen solche gegenseitigen Abhängigkeiten vermieden werden; in den beiden genannten Fällen ist dies aber aus dem Grund der hohen Vernetztheit einzelner psychischer Komponenten, die sich aus der Theorie heraus ergibt, nicht möglich. Dennoch handelt es sich in den beiden Fällen um vertretbare Lösungen, da die Abhängigkeiten aus schwachen Bindungen über ein sogenanntes Observermuster bestehen.

Das Paket *agent* (agent; Abbildung 5.1) ist von allen anderen Paketen abhängig, da die Klasse *Agent* aus diesem Paket als Steuerungsinstanz alle wichtigen Klassen der „psychischen Komponenten“ erzeugen und miteinander verbinden soll.

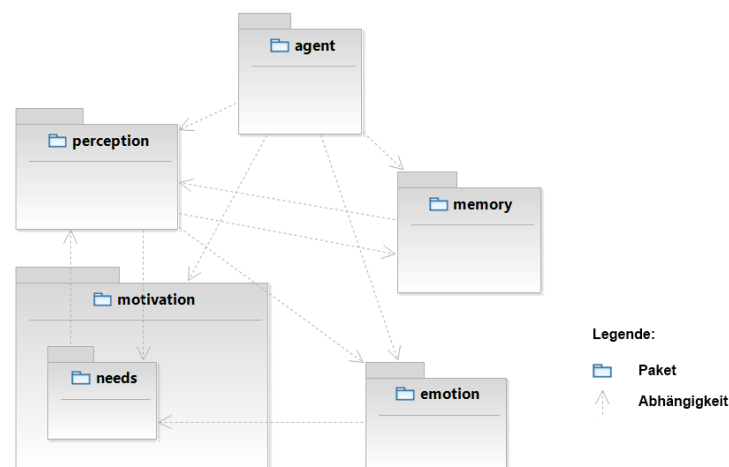


Abbildung 5.1. Die Übersicht der PsiCasso-Architektur zeigt die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Paketen.

5.1.1 Das Paket motivation

Um das Bedürfnissystem (siehe Kapitel 4.2) zu realisieren, besitzt das Paket *motivation* die Bedürfnisklassen *Competence* und *Certainty*, die jeweils von einer abstrakten Klasse *Tank* erben. Diese Klasse besitzt alle Attribute und Funktionen zur Realisierung eines Bedürfnisses, wie z. B. die Berechnung der Ist-Sollwertabweichung sowie eine Funktion für die Bedarfsmeldung. Zum momentanen Stand von PsiCasso existieren nur die beiden Bedürfnisse Bestimmtheit und Kompetenz. Aufgrund der modularen Struktur ist es aber ohne großen Aufwand möglich, weitere Bedürfnisse hinzuzufügen. Über eine Observerstruktur gelangen

Instanzen anderer Klassen an die Informationen der Bedürfnisse. So ist die Instanz der Klasse *PleasureDistressSystem* beispielsweise als Beobachter von *Certainty* registriert. In Abbildung 5.2 sind zwei Observermuster dargestellt, wie sie häufig in der PsiCasso-Architektur vorkommen. Die Vorteile einer Observerstruktur sind, dass Subjekte und Beobachter weitestgehend lose aneinander gekoppelt sind. Ein beobachtetes Objekt braucht keine Kenntnis über die Struktur seiner Beobachter zu besitzen, sondern kennt diese nur über die *Observer*-Schnittstelle. Somit ist das Subjekt – in diesem Fall ein Bedürfnis – unabhängig von seinen Beobachtern und es können sich mehrere Objekte als Beobachter beim Subjekt registrieren, um über Änderungen der Bedürfnisse informiert zu werden. Damit Veränderungen der Bedürfnisattribute beobachtbar sind, implementiert die Klasse *Tank* das Interface *TankObservable*. Darüber hinaus müssen Klassen, die Bedürfnisse beobachten wollen, wie z. B. die Klasse *PleasureDistressSystem* das Interface *Observer* implementieren.

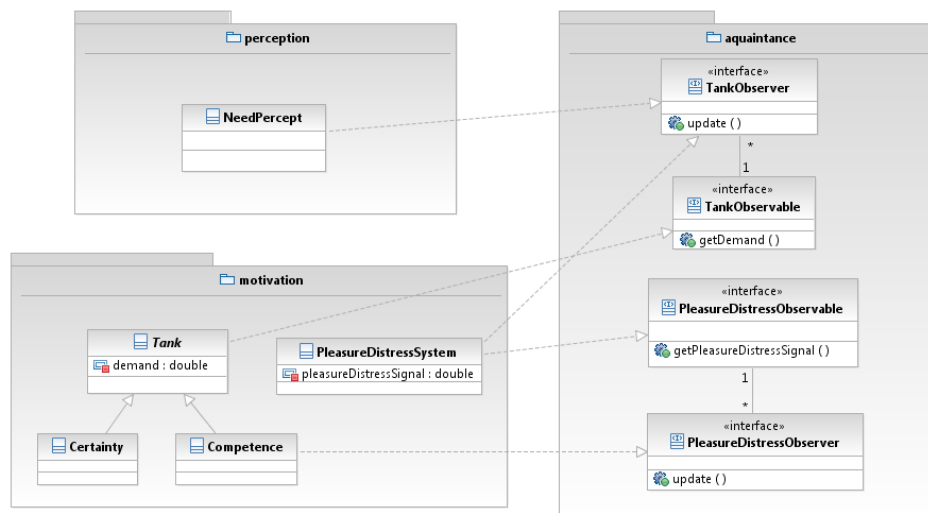


Abbildung 5.2. Die Klassen *Certainty* und *Competence* erben von der Klasse *Tank*, die die Schnittstelle *TankObservable* implementiert. Die beiden Schnittstellen *TankObservable* und *TankObserver* kennen sich und ermöglichen so eine Beobachtung der Bedürfnisse. Die Klassen *NeedPercept* und *PleasureDistressSystem* können Veränderungen der Bedürfnisse beobachten, indem sie die Schnittstelle *TankObserver* implementieren.

Die Berechnung von Lust-Unlustsignalen basiert auf den Bedarfsveränderungen von Bestimmtheit und erfolgt in der Klasse *PleasureDistressSystem* mithilfe zweier Formeln, die in Kapitel 4.2.4 beschrieben werden. Da die Lust-Unlustsignale eine direkte Auswirkung auf den Kompetenzbedarf haben, implementiert die Klasse *Competence* das Interface *Observer* und die Instanz der Klasse registriert sich als Beobachter der Instanz von *PleasureDistressSystem*.

Abhängigkeit des Pakets vom Paket perception:

Der HyPercept-Prozess soll Bestimmtheits- bzw. Unbestimmtheitsignale an das Bestimmtheitsbedürfnis schicken können. Zur Umsetzung dieser Verbindung ist die Instanz der Klasse Certainty als Beobachter der Instanz von HyPercept registriert. Sobald der HyPercept-Prozess ein Objekt, ein Ereignis oder eine Situation erfolgreich erkannt bzw. nicht erkannt hat, gibt die Instanz der Klasse HyPercept eine Meldung an ihre Beobachter.

5.1.2 Das Paket memory

Das Gedächtnismodell MINERVA-2 und ein Verknüpfungspunkt des Gedächtnisses zur restlichen PsiCasso-Architektur werden im Paket *memory* mithilfe der beiden Klassen *SecondaryMemory* und *MemoryController* realisiert. Die Klasse *SecondaryMemory* stellt alle Gedächtnisfunktionen von MINERVA-2 bereit. Darüber hinaus wird ansatzweise ein Protokollgedächtnis realisiert. Dafür werden alle Traces in einer Liste miteinander verkettet werden, um eine zukünftige Integration von Funktionen eines Protokollgedächtnisses zu erleichtern. Die Klasse *MemoryController* dient gewissermaßen als Schnittstelle zwischen dem *Secondary Memory* und Klassen der restlichen Architekturen. Zum einen soll der *Memory Controller* die Speicherung und den Abruf von Traces aus dem *Secondary Memory* überwachen. Und zum anderen soll er die Kommunikation zwischen dem *Secondary Memory* und weiteren Gedächtnisfunktionen ermöglichen, die noch nicht in das Modell integriert wurden, wie z. B. die Funktionen eines Arbeitsgedächtnisses. Die Integration eines Arbeitsgedächtnisses könnte beispielsweise so aussehen, dass eine Instanz auf die ersten Elemente der Protokollkette zugreift und diese für kognitive Operationen zur Verfügung stellt. Somit bietet die Klassenstruktur des Gedächtnisses Möglichkeiten zur Veränderung und Ergänzungen neuer Funktionen.

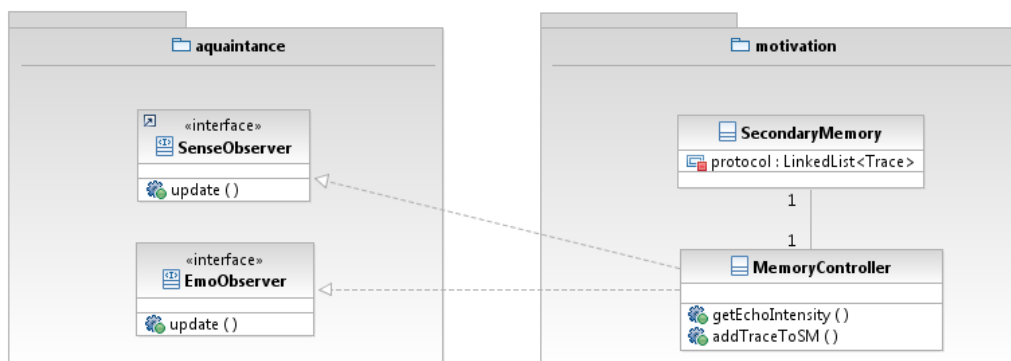


Abbildung 5.3. Die Klasse *MemoryController* instanziiert die Klasse *SecondaryMemory*. Zudem implementiert sie die Schnittstellen *SenseObserver* und *EmoObserver*, um Veränderungen der Wahrnehmung und der Emotionen zu beobachten.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket perception:

Um sensorische Informationen im Gedächtnis zu speichern, werden diese von der Wahrnehmung in Traces codiert und anschließend an das Gedächtnis weitergegeben. Daher ist der Memory Controller als Beobachter der Instanzen von beiden Klassen Vision und NeedPercept aus dem Paket perception registriert (s. Abbildung 5.3). Sobald neue Traces gebildet werden, bekommt der Memory Controller eine Meldung. Der Memory Controller dient dazu, die eingehenden Traces zusammenzuführen und einen einzigen Trace zu erstellen. Schließlich werden die kombinierten Traces von dem Memory Controller im Secondary Memory gespeichert.

Abhängigkeit des Pakets vom Paket emotion:

Da der Auflösungsgrad einen Einfluss auf den Lernparameter haben soll, beobachtet der Memory Controller die Klasse EmotionalStates, um über aktuelle Veränderungen des Auflösungsgrades informiert zu werden.

5.1.3 Das Paket perception

Eine wichtige Funktion der Wahrnehmung ist die Umwandlung von sensorischen Informationen in Gedächtnistraces. Das Paket *perception* besitzt für diese Aufgabe die Klassen *Vision* und *NeedPercept*. Informationen über Veränderungen der Bedürfnisse werden von der Klasse *NeedPercept* verarbeitet. Für die Umwandlung von visuellen Reizen in Gedächtnistraces ist die Klasse *Vision* zuständig. Diese Klasse ist mit einem künstlichen neuronalen Netz ausgestattet (s. Abbildung 5.4), das auch von Raab, Imhof und Carbon (2011a) verwendet wird. Die Autoren verwenden eine Implementierung einer Self-Organizing Map (SOM) aus der ENCOG-Engine (Heaton, 2010). In einem Versuch zeigen sie, dass ein solches neuronales Netz in einer bestimmten Konfiguration imstande ist, durch unüberwachtes Lernen aus Low-level-Merkmalen (wie von Tamura et al., 1978 beschrieben) MINERVA-kompatible Traces zu produzieren.

Eine Realisierung des HyPercept-Prozesses bietet die Klasse *HyPercept*. Der HyPercept-Prozess versucht die eingehenden Traces zu identifizieren, indem er Echoinhalt und –intensität berechnet. Die Echointensität dient als Vertrauheitsmaß und wird zu einem Bestimmtheitssignal verrechnet. Um die Traces zu erhalten, ist die Instanz dieser Klasse als Beobachter der Instanzen Vision und NeedPercept registriert.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket motivation:

Die Instanz von NeedPercept wird als Beobachter von Kompetenz und Bestimmtheit über Bedürfnisveränderungen informiert, woraufhin das Objekt einen Trace erstellt und anschließend eine Meldung an seine Beobachter abgibt.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket memory:

Der HyPercept-Prozess braucht Zugriff auf das Gedächtnis, um einen Abgleich zwischen wahrgenommenen Mustern und Gedächtnisinhalten durchzuführen. Ein Zugriff wird ermöglicht, dadurch dass die Klasse HyPercept von der Klasse MemoryController im Paket memory abhängig ist, welche direkt auf das Gedächtnis zugreifen kann.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket emotion:

Die Klasse HyPercept beobachtet Veränderungen des Auflösungsgrads, der in der Klasse EmotionalStates im Paket emotions verwaltet wird. Der Auflösungsgrad beeinflusst die Genauigkeit des Identifikationsprozesses, der die wahrgenommenen Reizkonfigurationen mit den vorhandenen Gedächtnisinhalten abgleicht.

5.1.4 Das Paket emotion

In dem Paket *emotion* werden die Modulationsparameter arousal (Arousal) und resolution-level (Auflösungsgrad) verwaltet. Der Auflösungsgrad hat z. B. einen Einfluss auf die Genauigkeit der Enkodierung von Traces.

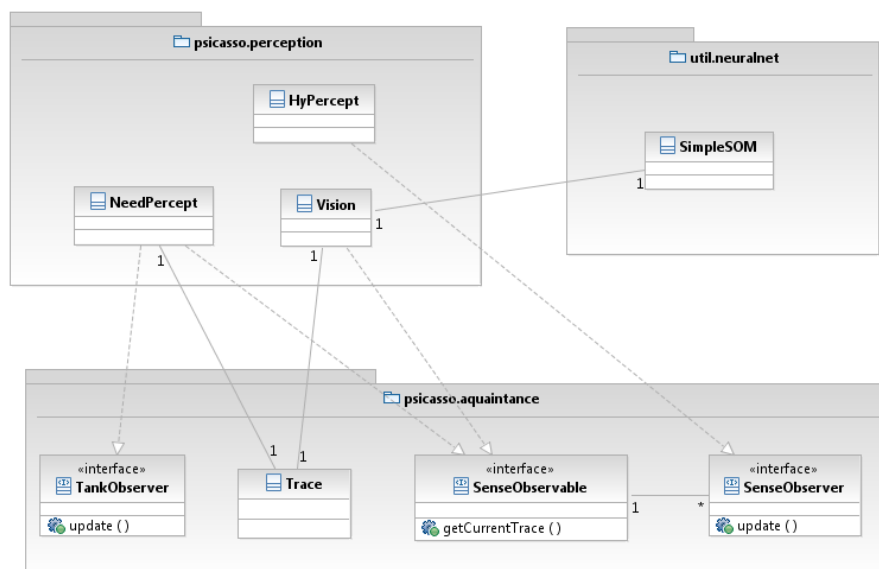


Abbildung 5.4. Die Klasse NeedPercept wird über Veränderungen in den Bedürfnisklassen informiert, indem es die Schnittstelle TankObserver implementiert. Die Klasse Vision enthält eine Self-Organizing Map, die imstande ist, Bildinformationen in MINERVA-2-Traces umzuwandeln. Beide Klassen implementieren die Schnittstelle SenseObservable. Die Klasse HyPercept implementiert die Schnittstelle SenseObserver und wird dadurch über Veränderungen in den Klassen NeedPercept und Vision informiert.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket perception:

Der HyPercept-Prozess wird von dem Bestimmtheitskessel beobachtet und dieser beeinflusst wiederum den Auflösungsgrad. Aus diesem Grund sind die emotionalen Zustände indirekt von der Wahrnehmung abhängig.

Abhängigkeiten des Pakets vom Paket motivation:

Die Klasse EmotionalStates ist von den beiden Klassen Competence und Certainty abhängig, da die Modulationsparameter Auflösungsgrad und Arousal wie in Kapitel 4.2.6 beschrieben, aus den Ist-Sollwertabweichungen dieser beiden Kessel berechnet werden.

5.1.5 Das Paket simulation

Zur Simulation des Modells existiert ein Paket *simulation*, das eine Klasse Experiment und eine Klasse SimulationTimer enthält. Die Experimentklasse dient der Programmierung eines Versuchsablaufs, um die Dynamik des Gefallens zu simulieren. Wie der Versuchsaufbau zur Evaluation des Modells aussieht, wird in Kapitel 6 beschrieben. Sobald ein Experiment instanziiert und gestartet wird, wird von dem Objekt ein PsiCasso-Agent instanziiert.

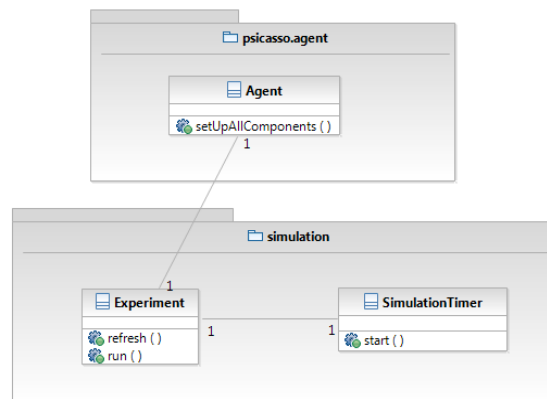


Abbildung 5.5. Die Klasse Experiment kann ein oder mehrere PsiCasso-Agenten instanziiieren. Zudem instanziiert sie die Klasse SimulationTimer, der beim Start des Experiments gestartet wird.

Die Klasse Agent aus dem Paket *agent* instanziiert wiederum alle wichtigen Komponenten aus den Paketen motivation, emotion, perception sowie memory und verbindet diese miteinander, indem es z. B. die Observerbeziehungen herstellt. Auch ein Timer zur Simulation der Zeit wird in der Experimentklasse verwaltet (s. Abbildung 5.5). Eine Instanz von der Klasse SimulationTimer wiederholt mit jeder Zeiteinheit vordefinierte TimerTasks. So wird unter anderem der Zustand des Agenten oder das Experiment selbst nach einem vordefinierten Intervall aktualisiert.

6 Evaluation

Um die zentrale Fragestellung der Arbeit beantworten zu können, findet eine Evaluation des Modells statt. Anhand einer Simulation soll dabei geprüft werden, ob das Modell das Phänomen der Dynamik des Gefallens abbilden kann.

6.1 Stimuli

Das Stimulusmaterial besteht aus Bildern, die in einem Versuch von Raab et al. (2011a) verwendet wurden. Die Bilder sind in zwei Bilderreihen aufgeteilt. Zum ersten Bildersatz gehören 1024 Bilder aus dem Internet, die eine hohe Auflösung (mindestens 1000 Pixel auf der kurzen Seite) haben. Die Motive der Bilder stammen aus verschiedenen Kategorien, wie z. B. Natur, Architektur oder Menschen und variieren stark in Stil und Inhalt. Die zweite Reihe besteht aus 687 Bildern aus der Zeitschrift *Playboy*. Alle Bilder aus der zweiten Reihe variieren wenig in Stil und Inhalt.

6.2 Prozedur

Der Ablauf gliedert sich in zwei Schritte. Zur Vorbereitung auf die Simulation werden aus dem Stimulusmaterial mithilfe eines neuronalen Netzes MINERVA-2-Traces generiert. Im Anschluss findet die eigentliche Simulation statt, bei dem die erstellten Traces einem PsiCasso-Agenten übergeben werden.

Teil 1: Generierung von MINERVA-2-Traces

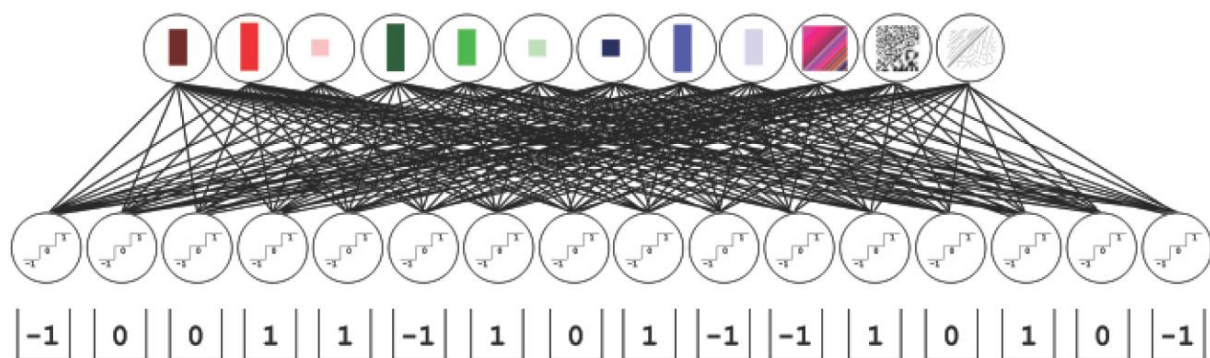


Abbildung 6.1: Die Eingangswerte für die Self-Organizing Map sind Werte des Farbhistogramms sowie Werte der Texturdimensionen nach Tamura (1978) Kontrast, Grobheit und Gerichtetheit. Die Ausgabewerte des neuronalen Netzes werden in MINERVA-2-Vektoren abgebildet, indem die Varianz für jedes Ausgabeneuron berechnet wird und anschließend Werte, die größer/kleiner ± 1 SD in 1/-1, sonst 0 umgerechnet werden (Raab et al. 2011a).

Von jedem Bild werden im ersten Schritt jeweils drei Rot-, Grün- und Blauwerte, sowie die Texturdimensionen (nach Tamura et al., 1978) Kontrast, Grobheit (Englisch: Coarseness) und

Gerichtetheit (Englisch: Directionality) berechnet. Im Anschluß wird eine in JAVA implementierte Self-Organizing Map (SOM) aus der ENCOG-Engine (Heaton 2010) verwendet, um anhand der berechneten Bilddaten MINERVA-2 kompatible Vektoren zu erzeugen (s. Abbildung 6.1). Die SOM wird dazu solange mit den Bilddaten trainiert bis sich die Gewichte des neuronalen Netzes nur noch geringfügig verändern. Anschließend werden dem neuronalen Netz die Bilddaten erneut übergeben. Mithilfe einer dreistufigen Schwellenfunktion werden die resultierenden Ausgabewerte von jedem Bild verrechnet und in MINERVA-2-Vektoren abgebildet, die aus Werten von -1, 0 oder 1 bestehen. Als Schwellenwerte für die Abbildung werden die Standardabweichungen der Ausgabewerte eines Neurons verwendet.

Teil 2: Simulation

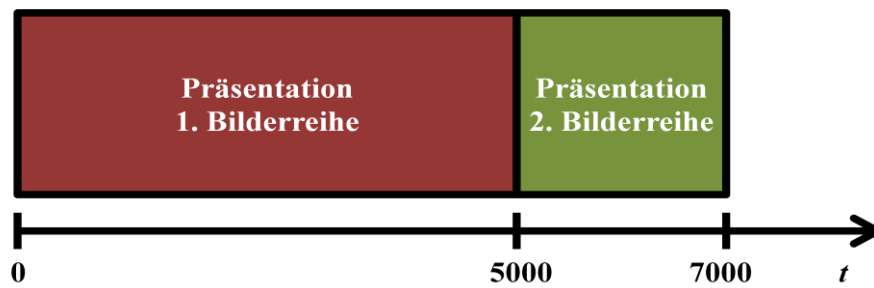


Abbildung 6.2. Ablauf der Simulation: Zunächst werden 5000 Zeiteinheiten die Bilder der ersten Reihe präsentiert und anschließend etwa 2000 Zeiteinheiten die Bilder der zweiten Reihe.

Die Simulation beginnt damit, dass PsiCasso pro Zeiteinheit jeweils ein zufälliges Bild aus der ersten Bilderreihe „präsentiert“ wird. Nach einem festgelegten Zeitpunkt von 5000 Zeiteinheiten wechselt das Stimulusmaterial. Daraufhin werden PsiCasso Bilder aus der zweiten Bilderreihe ebenfalls in zufälliger Reihenfolge etwa 2000 Zeiteinheiten lang präsentiert. Der gerade beschriebene Ablauf wird in Abbildung 6.2 schematisch dargestellt.

6.3 Ergebnisse und Diskussion

Um zu untersuchen, wie sich die Vertrautheit im Laufe der Simulation verändert, wird im Folgenden zunächst die Entwicklung der Bestimmtheit betrachtet. Danach wird die Entwicklung des Gefallens analysiert. Schließlich findet noch eine Untersuchung der Entwicklung der Aktivierung statt.

Entwicklung der Bestimmtheit

Die Abbildung 6.3 veranschaulicht die Entwicklung der Bestimmtheit. Anfangs ist der Bestimmtheitskessel zu 80% gefüllt und verliert während der ersten 1800 simulierten Zeiteinheiten etwa 30% seines Inhalts (t_1 ; Abbildung 6.3). Dieser Verlust wird zum einen dadurch verursacht, dass der Bestimmtheitskessel ein Leck hat und mit jeder Zeiteinheit einen bestimmten Prozentsatz seines Inhalts verliert. Zum anderen sind im Gedächtnis zunächst kaum Traces vorhanden, die bei einem Gedächtnisabruf ein Echo erzeugen können. Dadurch werden selten positive Echointensitäten ausgelöst, die wiederum proportional große Bestimmtheitssignale entstehen lassen würden. Etwa ab dem Zeitpunkt 1800 füllt sich der Bestimmtheitskessel in den folgenden 3200 Zeiteinheiten bis er einen Füllstand von etwa 95% erreicht (t_2 ; Abbildung 6.3). Das präsentierte Bildmaterial löst in diesem Zeitraum mehr Bestimmtheitssignale aus als in dem Zeitraum davor. Dies lässt darauf schließen, dass die Bilder vertrauter werden. Da sich im Gedächtnis zunehmend Traces von gleichen und ähnlichen Bildern sammeln, wachsen die Echointensitäten mit jeder Zeiteinheit.



Abbildung 6.3. Entwicklung des Bestimmtheitsstands von PsiCasso während der Simulation.

Interessant ist, was nun passiert, wenn das Stimulusmaterial wechselt. Nach insgesamt 5000 Zeiteinheiten werden Bilder aus einem anderen Set gezeigt. Daraufhin nimmt der Inhalt des Bestimmtheitskessels sehr rasant ab bis eine Füllmenge von nur noch 50% erreicht ist (t_3 ; Abbildung 6.3). Dieser rasche Verlust ist zum einen darin begründet, dass der Bestimmtheitskessel wieder durch sein vordefiniertes Leck an Inhalt verliert. Einen viel größeren Einfluss auf den Verlust hat demgegenüber das noch sehr unvertraute Bildmaterial. Die unbekannten Bilder lösen tendenziell mehr negative als positive Echointensitäten und damit Unbestimmtheitssignale aus, welche den Bestimmtheitsbedarf steigen lassen. Etwa ab

dem Zeitpunkt 5600 kehrt sich die Entwicklung um. Die Bestimmtheitssignale nehmen zu, was dazu führt, dass sich der Kessel wieder füllt. Nach etwa 1100 Zeiteinheiten hat der Kessel den maximalen Füllstand erreicht (t_4 ; Abbildung 6.3). Weil sich das Stimulusmaterial nicht mehr ändert und weiterhin Bestimmtheitssignale ausgelöst werden, bleibt der Füllstand im Laufe der restlichen Simulation auf dem maximalen Niveau.

Entwicklung der Kompetenz

Aus der Entwicklung der Kompetenz lässt sich ableiten, wie sich das Gefallen von PsiCasso entwickelt. Da der Kompetenzkessel ausschließlich durch Lustsignale gefüllt wird und das Bedürfnissystem neben dem Kompetenzkessel nur aus dem Bestimmtheitskessel besteht, werden alle Lustsignale durch Bestimmtheitssignale ausgelöst. Die Lustsignale dienen dazu, das Gefallen von PsiCasso zu operationalisieren. Demnach kann die Entwicklung des Gefallens von PsiCasso auf die Entwicklung der Bestimmtheit zurückgeführt werden. Diese Beziehung ist wichtig, weil so der Zusammenhang zwischen Verarbeitungsflüssigkeit und Gefallen untersucht werden kann.

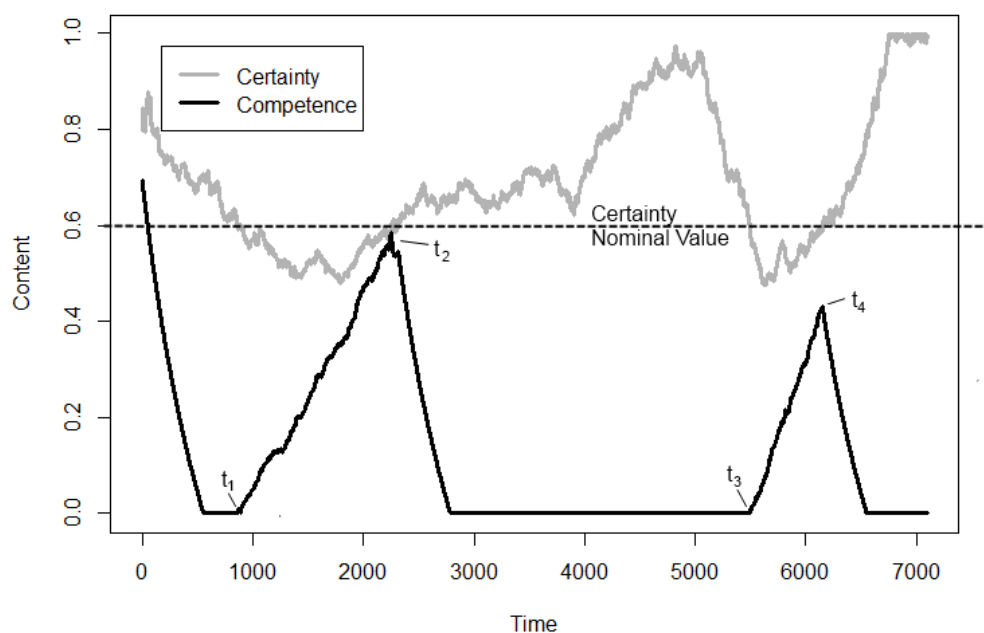


Abbildung 6.4. Entwicklung des Bestimmtheits- und Kompetenzstands von PsiCasso während der Simulation.

In Abbildung 6.4 ist der Verlauf des Kompetenzstands und Bestimmtheitsstands dargestellt. Da die Entwicklung der Kompetenz von der Entwicklung der Bestimmtheit abhängt, wird hier das Zusammenspiel der beiden Bedürfnisse betrachtet. Am Anfang der Simulation ist der Kompetenzkessel zu 70% gefüllt. Im Laufe der ersten 500 bis 600 Zeiteinheiten nimmt die Füllmenge des Kompetenzkessels aufgrund seines Lecks solange ab, bis der Kessel leer ist. In

diesem Zustand bleibt der Kessel weitere 350 Zeiteinheiten. Auch wenn in diesem Zeitraum Bestimmtheitssignale entstehen, werden keine Lustsignale ausgelöst, da kein Bestimmtheitsbedarf vorhanden ist, solange der Füllstand des Bestimmtheitskessels über dem Sollwert liegt. PsiCasso benötigt also momentan keine Bestimmtheit und ist in dieser Hinsicht gesättigt.

Erst ab dem Zeitpunkt 950 (t_1 ; Abbildung 6.4) steigt der Füllstand des Kompetenzkessels an, bis er nach etwa 1100 Zeiteinheiten 60% erreicht. Der Auslöser für den rasanten Anstieg ist das Abfallen der Füllmenge des Bestimmtheitskessels unter den Sollwert von 60% (Certainty Nominal Value; Abbildung 6.4). Solange der aktuelle Wert unter dem Sollwert bleibt und ein Bedarf herrscht, löst jedes Bestimmtheitssignal ein Lustsignal aus. Unter diesen Bedingungen nimmt der Inhalt des Kompetenzkessels zu. Etwa 1100 Zeiteinheiten später erreicht die Bestimmtheit wieder den Sollwert von 60%. Daraufhin ist kein Bedarf mehr vorhanden und Bestimmtheitssignale lösen keine Lustsignale mehr aus (t_2 ; Abbildung 6.4). Als Folge verliert der Kompetenzkessel aufgrund des vordefinierten Lecks Inhalt und ist nach ungefähr 600 Zeiteinheiten wieder komplett leer.

Nach insgesamt 5000 Zeiteinheiten wechselt das Stimulusmaterial und PsiCasso werden Bilder aus dem zweiten Set gezeigt. Der Kompetenzkessel bleibt zunächst weitere 500 Zeiteinheiten lang leer. Dann sinkt das Niveau des Bestimmtheitskessels unter den Sollwert und die Bestimmtheitssignale lösen wieder Lustsignale aus (t_3 ; Abbildung 6.4). Der Kompetenzkessel füllt sich erneut, bis sein Füllstand nach etwa 500 Zeiteinheiten 40% erreicht. Anschließend steigt der Inhalt des Bestimmtheitskessels über seinen Sollwert. Es entstehen keine Lustsignale mehr (t_4 ; Abbildung 6.4), obwohl weiterhin Bestimmtheitssignale ausgelöst werden. Schließlich sinkt der Füllstand des Kompetenzkessels bis der Kessel komplett leer ist.

Die Ergebnisse können folgendermaßen interpretiert werden: Am Anfang ist PsiCasso von den Bildern überfordert und es werden kaum Bestimmtheitssignale ausgelöst. Dadurch reduziert sich die Bestimmtheit, bis ein Bestimmtheitsbedarf entsteht. Solange ein Bestimmtheitsbedarf existiert und die Stimuli zumindest ein wenig Bestimmtheit geben, sind die präsentierten Bilder interessant. Dadurch füllt sich der Bestimmtheitskessel, bis schließlich kein Bedarf an Bestimmtheit mehr vorhanden ist. Aus diesem Grund wird das Material zunehmend uninteressant, obwohl die Stimuli weiterhin Bestimmtheitssignale auslösen. Eine naheliegende Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen wäre, dass PsiCasso unterfordert ist und sich in einem Zustand von Langeweile befindet. Nachdem das Stimulusmaterial wechselt, wächst die Unbestimmtheit erneut. Der wachsende

Bestimmtheitsbedarf ermöglicht, dass wieder Lustsignale entstehen. Die Lustsignale werden solange ausgelöst, bis die Bilder schließlich wieder zu vertraut werden und PsiCasso erneut unterfordern. Der gerade beschriebene Vorgang macht deutlich, dass sich eine Dynamik der ästhetischen Wahrnehmung durch die angenommenen Mechanismen simulieren lässt.

Entwicklung des Arousal

In Abbildung 6.5 wird die Entwicklung des Arousal in Vergleich mit der Entwicklung des Gefallens dargestellt. Das Arousal wird aus den beiden Bedürfnissen Bestimmtheit und Kompetenz berechnet. Zu Beginn befindet sich das Aktivierungsniveau des Agenten in einem mittleren Bereich von etwa 35%. In den ersten 1000 Zeiteinheiten steigt das Arousal schnell an und erreicht sein höchstes Niveau von 95-100% (t_1 ; Abbildung 6.5). Dieser schnelle Anstieg wird durch die Bedarfssteigerungen der beiden Bedürfniskessel verursacht. Anschließend führen die Unbestimmtheitsreduktion und die Luststeigerung durch die wachsende Vertrautheit der Bilder dazu, dass das Aktivierungsniveau nach insgesamt 2000 Zeiteinheiten auf 55% abfällt (t_2 ; Abbildung 6.5). Da das Stimulusmaterial ab diesem Zeitpunkt nicht mehr genügend Unbestimmtheit bietet, kann der Kompetenzbedarf nicht gedeckt werden. Daher steigt das Arousal an und erreicht ein Niveau von etwa 90%. Die hohe Unbestimmtheitsreduktion bewirkt, dass das Arousal noch einmal auf etwa 70% absinkt. Nach insgesamt 5000 Zeiteinheiten und zu dem Zeitpunkt, an dem das Stimulusmaterial wechselt, steigt das Arousal wieder deutlich an und erreicht innerhalb von 500 Zeiteinheiten 100% (t_3 ; Abbildung 6.5). Daraufhin entstehen erneut vermehrt Lustsignale, sodass die Aktivierung auf einen Wert von 60% im mittleren Bereich abfällt (t_2 ; Abbildung 6.5). Nachdem keine neuen Lustsignale ausgelöst werden, die Bestimmtheit aber gleichzeitig stark zunimmt, steigt das Arousal für eine kurze Zeit an und sinkt zum Ende der Simulation auf etwa 65%.

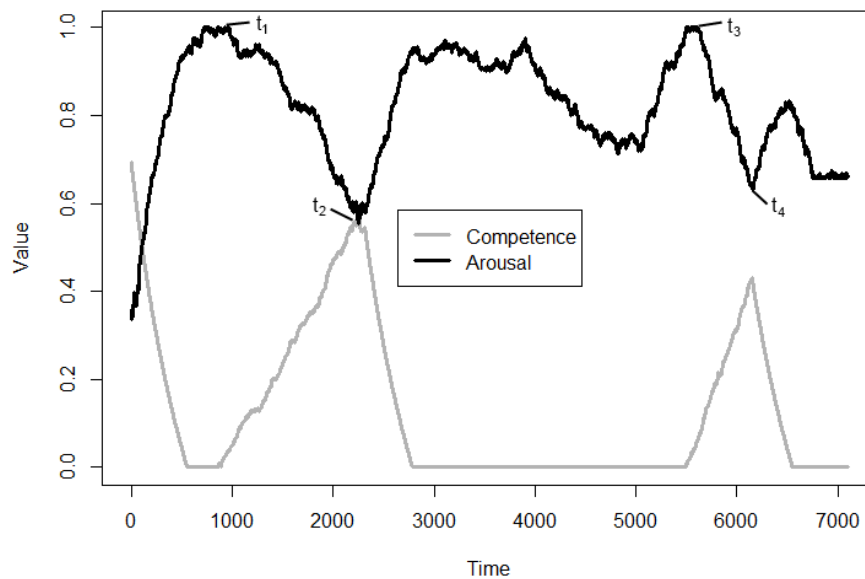


Abbildung 6.5. Entwicklung des Arousals von PsiCasso während der Simulation

Die Ergebnisse müssen vorsichtig interpretiert werden, da das Arousal bei PsiCasso nur durch zwei Bedürfnisse bestimmt wird. Normalerweise besitzt ein PSI-Agent mehrere Bedürfnisse, die alle bei der Berechnung des Arousals einen gleich großen Einfluss haben. Der Verlauf des Arousals würde nicht so große Schwankungen aufweisen, wenn PsiCasso z. B. existenzielle Bedürfnisse oder ein Bedürfnis nach Affiliation hätte und diese voll befriedigt wären. Ein wachsender Kompetenz- oder Bestimmtheitsbedarf würde in diesem Fall nicht so stark ins Gewicht fallen.

Der Verlauf des Arousals verdeutlicht, dass sich die Aktivierung zumindest teilweise vom Lustempfinden abhängt. Zu den Zeitpunkten t_2 und t_4 sinkt das Arousal in einen mittleren Bereich, weil das Lustempfinden auf seinem Höhepunkt ist und der Bestimmtheitsbedarf gedeckt ist. Dies könnte zu Berlynes (1974a) Annahme passen, dass sich Organismen ein optimales Erregungsniveau schaffen, indem sie neue Reizstrukturen explorieren. Interpretiert man die Ergebnisse der Simulation auf Grundlage dieser Annahmen, würde das optimale Erregungsniveau von PsiCasso im mittleren Bereich liegen. Eine weiter zunehmende Aktivierung wäre im Sinne von Berlyne mit Unlust verbunden. Dieser Zusammenhang trifft auch auf PsiCasso zu: Nachdem die Aktivierung weiter steigt, fällt das Lustempfinden wieder ab. Im Modell PsiCasso ist jedoch ein mittlerer Aktivierungszustand nicht immer mit Lust verbunden. Obwohl PsiCasso keine Lust empfindet, befindet sich das Aktivierungsniveau etwa zum Zeitpunkt 5000 auch in einem mittleren Bereich. Der Grund dafür ist, dass der Bestimmtheitskessel komplett gefüllt ist.

7 Abschließende Diskussion und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wird die Frage nach den Mechanismen der ästhetischen Wahrnehmung untersucht. Eine Studie von Carbon (2010) über die Dynamik des Gefallens macht deutlich, dass Konzepte wie der Mere-Exposure-Effekt (Zajonc, 1968) und die Verarbeitungsflüssigkeit (Winkielman et al., 2003) nur einen Teil des Phänomens der Dynamik des Gefallens erklären können. Die Konzepte können nicht erklären, warum sehr vertraute Reize mit der Zeit ihre Schönheit verlieren können. Wahrscheinlich kennt jeder die Erfahrung, dass man ein Bild, das man einmal schön fand, nach langem Betrachten nicht mehr schön findet. Warum gefallen einem manche Dinge irgendwann nicht mehr? Warum ändern sich Trends in vielen verschiedenen Bereichen, wie z. B. Kunst, Mode oder Produktdesign (s. dazu z. B. Veränderung von Autodesigns; Carbon, 2010)?

Nach der Erklärung des Hedonic Fluency Modells (Winkielman et al., 2003) sind vor allem sehr vertraute Reize schön, weil sie flüssig wahrgenommen und verarbeitet werden können. Dieses Konzept erklärt jedoch nicht, warum wir manche sehr vertraute Reize irgendwann nicht mehr schön finden und wir uns neuen Reizen zuwenden. Ein Ansatz von Berlyne (1974b) kann dagegen die Suche nach immer wieder neuen Reizen erklären. Berlyne nimmt an, dass basale Bedürfnisse den Menschen dazu bewegen, ein Aktivierungspotential aufrechtzuerhalten. Zusammen mit anderen Faktoren, wie z. B. Reizintensität lösen kollative Reizeigenschaften (wie z. B. Komplexität, Neuheit oder Ambiguität) von Objekten einen Erregungszustand aus, der dem Betrachter Lust bereitet.

Einen ganz ähnlichen Ansatz bietet das integrative und allgemeinspsychologische PSI-Modell von Dörner (2008), in dessen Kern ebenfalls die Befriedigung basaler Bedürfnisse steht. Darüber hinaus bietet das PSI-Modell eine Erklärung für den Mere-Exposure-Effekt und die Auswirkung von Adaptationsmechanismen auf das ästhetische Empfinden. Eine Erklärung der Dynamik des Gefallens im Sinne der Annahmen des PSI-Modells sähe folgendermaßen aus: Präsentiert man einem autonomen System wiederholt einen Reiz oder Reize einer ähnlichen Kategorie, nimmt die Bestimmtheit im Laufe der Zeit zu. Aufgrund von Gedächtnisinhalten, die sich bei der wiederholten Betrachtung bilden, kann der Reiz zunehmend leichter eingeordnet werden und die Verarbeitungsflüssigkeit steigt. Desweiteren gehen mit der zunehmenden Bestimmtheit Lustsignale einher. Je besser der Reiz eingeordnet werden kann, desto höher ist das Lusterlebnis. Sobald allerdings das Bedürfnis nach Bestimmtheit befriedigt ist, verschwindet allmählich das Lustempfinden. Schließlich wird der Widerstand während der Unbestimmtheitsreduktion geringer, bis das Objekt keine

Unbestimmtheit mehr bietet, weil es zu vertraut geworden ist. Eine mögliche Folge ist, dass das Objekt langweilig wird. Die Dynamik des Gefallens setzt sich fort, indem die Aufmerksamkeit auf einen neues, noch unbekanntes Objekt gerichtet wird. Da das neue Objekt bisher nicht exploriert wurde, ist der Widerstand während der Unbestimmtheitsreduktion anfangs hoch und der oben geschilderte Prozess beginnt von neuem.

Einordnung der vorliegenden Arbeit in die Forschung zur psychologischen Ästhetik

Zur Prüfung der soeben geschilderten Annahmen des PSI-Modells wird eine kognitive Architektur auf der Basis eines theoretischen Ansatzes von Raab et al. (2011a) programmiert. Diese wird eingesetzt, um die Dynamik des Gefallens zu simulieren. Der Ansatz kombiniert die Annahmen der PSI-Theorie mit einem Gedächtnismodell MINERVA-2, das sich u. a. sehr gut eignet, um Wiedererkennungseffekte sowie Prototypenbildung zu simulieren. Die Vermutung, dass sich eine Dynamik des Gefallens mithilfe des Ansatzes von Raab et al. simulieren lässt, wird bestätigt. Die Ergebnisse der Simulation veranschaulichen, dass sich eine Dynamik der ästhetischen Wahrnehmung durch die angenommenen Mechanismen ergibt.

Darüber hinaus können die Ergebnisse zum Teil mit aktuellen Theorien der psychologischen Ästhetik erklärt werden. Es zeigt sich, dass PsiCasso bestehende Theorien zur Erklärung ästhetischer Wahrnehmung integrieren kann. Nach dem Hedonic Fluency Modell (Winkielman et al., 2003) ist Verarbeitungsflüssigkeit mit einem lustvollem Erleben verknüpft. Es basiert auf der Annahme, dass die Verarbeitungsflüssigkeit unbewusst als Informationsquelle herangezogen, um ästhetische Bewertungen hinsichtlich verschiedener Reize vorzunehmen. Die Autoren vermuten, dass hohe Verarbeitungsflüssigkeit mit einem positiven Affekt verknüpft ist (Fluency-Affect Link) und daher positiv wahrgenommen wird. Die Situation in der Simulation löst den gleichen Mechanismus bei PsiCasso aus – bis auf einen Unterschied: Im Gegensatz zu den Annahmen des Hedonic Fluency Modells (Winkielman et al., 2003) wird ein lustvolles Erleben in der Simulation nur unter bestimmten Bedingungen durch eine hohe Verarbeitungsflüssigkeit ausgelöst. In dem Modell entspricht das lustvolle Erleben den Lustsignalen, die ausgelöst werden, sobald ein Bestimmtheitssignal entsteht. Zudem stellt die Bestimmtheit einen Indikator für die Verarbeitungsflüssigkeit dar. Lustsignale können nur entstehen, indem Unbestimmtheit reduziert wird. Ist das Bedürfnis nach Bestimmtheit befriedigt, werden keine Lustsignale ausgelöst. Demnach ist die Verarbeitungsflüssigkeit bei PsiCasso nur mit Lust verbunden, solange zumindest ein wenig Unbestimmtheit bei der Entschlüsselung eines Reizes vorhanden ist. Dieser Zusammenhang wird im Fluency-Konzept nicht betrachtet und kann im Gegensatz zum Hedonic Fluency

Modell erklären, warum in manchen Fällen sehr vertraute Reize nach einer gewissen Zeit nicht mehr gefallen.

Desweiteren wird durch die Simulation deutlich, dass Bedürfnisse für die ästhetische Wahrnehmung eine entscheidende Rolle spielen. Damit passen die Ergebnisse zu Berlynes (1974b) Annahmen, dass ästhetisches Verhalten durch Bedürfnisse bestimmt wird. Berlyne nimmt jedoch an, dass Menschen die Motivation haben, ein bestimmtes Aktivierungsniveau aufrechtzuerhalten. Die Ergebnisse der Simulation deuten auf eine andere Erklärung hin. Im Gegensatz zu den Annahmen von Berlyne, ist PsiCasso nicht motiviert, die Aktivierung möglichst niedrig zu halten. Die Höhe des Arousals gibt an, wie dringend etwas getan werden muss, um die Bedürfnisse zu befriedigen. Die Aktivierung erhöht sich zudem, wenn ein Bedarf wächst und nicht reduziert wird. Findet bei PsiCasso eine Unbestimmtheitsreduktion statt, sinkt die Aktivierung und gleichzeitig entsteht Lust. Demnach ist ein bestimmtes Aktivierungsniveau zwar notwendig, damit Lust entstehen kann, jedoch ist es nicht Ziel der Motivation, sondern vielmehr eine Begleiterscheinung des nicht reduzierten Bedarfs.

Diskussion des methodischen Vorgehens in der vorliegenden Arbeit

Ein Problem bei der Untersuchung stellt die Beurteilung der Validität des Modells dar. Wie kann man feststellen, ob Rückschlüsse auf tatsächliche Mechanismen in der Realität gezogen werden können? Taatgen und Anderson (2008, S. 171) legen einige Kriterien fest, anhand derer sich die Validität eines Modells beurteilen lässt. Nach ihnen sollte ein gutes Modell so wenig freie Parameter wie möglich haben. Zudem sollte das Modell ein Verhalten nicht nur beschreiben, sondern auch vorhersagen können. Desweiteren sollte ein Modell ein aufgabenspezifisches Wissen selbst lernen und nicht vorgegeben bekommen. Nach Bach (2009, S. 12) soll ein gutes Modell empirische Daten abbilden können und im Gegensatz zu anderen Modellen sparsam an Grundannahmen sein.

Bei der Konzeption von PsiCasso wurde darauf geachtet, sowohl mit möglichst wenigen freien Parametern als auch möglichst wenigen Annahmen auszukommen. Eine endgültige Entscheidung, ob das Modell die empirischen Daten z. B. von Carbon (2010) abbilden kann, kann jedoch aufgrund des Vorgehens in der Evaluation nicht getroffen werden. Für eine umfangreiche Evaluation sollten die Daten eines Experiments mit den Ergebnissen der Simulation genau verglichen werden, um eindeutige Rückschlüsse auf Mechanismen in der Realität zu ziehen. Die Evaluation dieser Arbeit sollte lediglich zeigen, dass eine Simulation der Dynamik des Gefallens prinzipiell mit diesem Modell möglich ist.

Zudem ist an der vorliegenden Arbeit zu kritisieren, dass in dem Modell nicht alle Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die für die Bildung von ästhetischen Urteilen eine Rolle spielen könnten. So beschränkt sich das Modell auf den Bekanntheitsgrad der Reize, es könnten aber auch kulturspezifische Normen oder evolutionspsychologische Mechanismen zum ästhetischen Urteil beitragen. Bar und Neta (2006) finden beispielsweise Belege dafür, dass Objekte mit runden bzw. kurvigen Konturen bevorzugt werden, weil scharfe Konturen mit Gefahr und Bedrohung assoziiert werden. Dieser Mechanismus könnte im Sinne von Dörners (2008) Annahmen erklärt werden. Dörners Überlegungen bauen auf Fechners (1876) Unterteilung in direkte und assoziative Faktoren der ästhetischen Wahrnehmung auf. Nach diesen Annahmen wirkt z. B. ein nackter Frauen- oder Männerkörper auf den Betrachter reizvoll, weil er von diesem mit der Befriedigung des sexuellen Bedürfnisses assoziiert wird. In dem Modell der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus auf der Untersuchung des direkten Faktors, da eine Berücksichtigung des assoziativen Faktors den Rahmen übersteigen würde. Wie Kapitel 5 beschrieben, besitzt PsiCasso lediglich die Bedürfnisse nach Bestimmtheit und Kompetenz, mit denen sich der direkte Faktor simulieren lässt. Weitere Forschungen könnten an diesem Punkt anknüpfen.

Eine weitere Frage, die die externe Validität des Modells betrifft, bleibt unbeantwortet: Wie lassen sich im Computermodell möglichst vergleichbare Bedingungen wie in der Realität erzeugen? Müssten z. B. Erfahrungen, die Menschen im Laufe ihres Lebens machen in das Modell integriert werden? Langley et al. (2009, S. 141) weisen darauf hin, Einstellungen, Wissen und Erfahrungen nicht als Teil der kognitiven Architektur zu sehen. Sie vergleichen eine kognitive Architektur mit der Architektur eines Gebäudes. Diese besteht aus Merkmalen, die beständig bleiben und schon bei der Planung festgelegt werden, wie etwa das Fundament, das Dach oder die Anordnung der Räume des Gebäudes. Die Einrichtung oder der Zweck des Gebäudes sind dagegen Merkmale, die sich erst im Nachhinein ergeben und sich im Laufe der Zeit verändern können. Eine kognitive Architektur betrachtet demnach nur die psychologischen Mechanismen, die mit den variablen Merkmalen, wie z. B. dem Wissen arbeiten. Um aber herauszufinden, ob ein bestimmtes Produkt, wie z. B. ein Auto einem Menschen gefällt, müsste sein ganzes kulturelles Wissen und seine persönlichen Erfahrungen, die er im Leben gemacht hat, berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen auch, dass der Ansatz von Raab et al. (2011b) geeignet ist, die Dynamik des Gefallens zu simulieren. Im Gegensatz zu ACT-R und Soar bietet der Ansatz von Raab et al. eine ganzheitliche Verknüpfung von motivationalen, emotionalen, Gedächtnis- und Wahrnehmungsprozessen. Ohne eine Betrachtung der

motivationalen Prozesse wäre eine Modellierung der ästhetischen Wahrnehmung vermutlich nicht möglich. Jedenfalls existieren bisher keine Ansätze zur Modellierung der ästhetischen Wahrnehmung mit ACT-R, Soar und CLARION oder sonstige Untersuchungen in dieser Richtung, die das Gegenteil belegen. Die Untersuchung macht deutlich, dass diese ganzheitliche Betrachtung kognitiver Prozesse sehr wichtig ist.

PsiCasso ist zudem momentan das einzige Modell, das die ästhetische Wahrnehmung simuliert. Modellierte Phänomene mithilfe von ACT-R reichen von visueller Wahrnehmung über das Lernen mentaler Arithmetik bis hin zu Problemlöseprozessen. Bisherige Anwendungen der kognitiven Architektur Soar sind Modellierungen von Lernprozessen und Problemlösen. Mit der Architektur CLARION wird hauptsächlich die Interaktion von impliziten und expliziten kognitiven Prozessen insbesondere die Aneignung impliziten sowie expliziten Wissens erforscht.

Darüber hinaus soll die Arbeit zeigen, dass die kognitive Modellierung neben dem experimentellen Vorgehen als Methode zur Erforschung psychologischer Phänomene geeignet ist. Die kognitive Modellierung kann eine sinnvolle Ergänzung zum experimentellen Vorgehen sein. Bach (2009) und Langley et al. (Langley et al., 2009, S. 141) schlagen vor, dass sich beide Vorgehensweisen gegenseitig unterstützen, indem empirische Befunde bei der Modellierung von kognitiven Mechanismen berücksichtigt werden und entwickelte kognitive Modelle empirisch überprüft werden.

Ausblick

Aus der vorliegenden Arbeit geht eine kognitive Architektur hervor, die nicht nur im Bereich der psychologischen Ästhetik einsetzbar ist, sondern sich auch für die Modellierung von Phänomenen in anderen Bereichen der kognitiven Forschung eignet. Die objektorientierte und modularisierte Struktur auf der Programmierenebene des Modells ermöglicht es, in Zukunft leicht Anpassungen oder Erweiterungen vorzunehmen. Die Architektur würde sich z. B. problemlos in eine dynamische Umwelt integrieren lassen und es würden sich Vorgänge in der Umwelt mithilfe einer Grafikengine visualisieren lassen.

Darüber hinaus kann das Modell genutzt werden, um weitere Wahrnehmungsphänomene zu untersuchen, wie z. B. die Erkennung von Gesichtern oder von Objekten allgemein. Dazu müsste der Wahrnehmungsapparat angepasst werden und Annahmen aus der aktuellen Forschung integriert werden. Zudem ist es möglich, das Modell mit Handlungs- sowie Planungsprozessen zu erweitern, um Phänomene in Bereichen außerhalb der Wahrnehmung zu untersuchen, wie z. B. Problemlösen oder Entscheidungsfindung.

8 Literaturverzeichnis

- Allesch, C. G. (2006). *Einführung in die psychologische Ästhetik*. Wien: WUV.
- Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1974). *Human associative memory* (2nd ed.). New York: Wiley.
- Anderson, J. R., & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bach, J. (2009). *Principles of synthetic intelligence. Oxford series on cognitive models and architectures: Vol. 4*. Oxford: Oxford University Press.
- Balzert, H. (Ed.). (2011). *Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bar, M., & Neta, M. (2006). Humans prefer curved visual objects. *Psychological Science*, 17(8), 645–648.
- Belke, B., Leder, H., Strobach, T., & Carbon, C. C. (2010). Cognitive fluency: High-level processing dynamics in art appreciation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(4), 214–222.
- Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Berlyne, D. E. (1974a). *Konflikt, Erregung, Neugier: Zur Psychologie der kognitiven Motivation*. Stuttgart: E. Klett.
- Berlyne, D. E. (1974b). *Studies in the new experimental aesthetics: Steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation*. Washington: Hemisphere.
- Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect - Overview and meta-analysis of research, 1968-1987. *Psychological Bulletin*, 106(2), 265–289.
- Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in synthetic psychology*. Cambridge (Mass): MIT Press.
- Budiu, R. (o. J.). *ACT-R Components*. Retrieved from <http://act-r.psy.cmu.edu/about/images/buffers.gif>
- Carbon, C. C. (2010). The cycle of preference: Long-term dynamics of aesthetic appreciation. *Acta Psychologica*, 134(2), 233–244.
- Dörner, D. (2008). *Bauplan für eine Seele* (2nd ed.). Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D., Detje, F., Bartl, C., Schaub, H., Gerdes, J., Halcour, D., & Starker, U. (2002). *Die Mechanik des Seelenwagens: Eine neuronale Theorie der Handlungsregulation*. Bern: Huber.
- Dörner, D., Schaub, H., & Detje, F. (1998). *Über das Zusammenspiel von Kognition, Emotion und Motivation - oder: Eine einfache Theorie für komplizierte Verhaltensweisen*. Bamberg.
- Dougherty, M. R. P., Gettys C. F., & Ogden E. E. (1999). MINERVA-DM: A Memory Processes Model for Judgments of Likelihood. *Psychological Review*, 106(1), 180–209.

- Fang, X., Singh, S., & Ahluwalia, R. (2007). An examination of different explanations for the mere exposure effect. *Journal of Consumer Research*, 34(1), 97–103.
- Fechner, G. T. (1876). *Vorschule der Aesthetik*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Fodor, J. A. (1975). *The language of thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Heaton, J. (2010). *Programming Neural Networks with Encog 2 in Java*. St. Louis: Heaton Research Inc.
- Hintzman, D. L. (1984). MINERVA 2: A simulation model of human memory. *Behavior Research Methods*, 16(2), 96–101.
- Hintzman, D. L. (1986). "Schema Abstraction" in a Multiple-Trace Memory Model. *Psychological Review*, (93), 411–428.
- Hintzman, D. L. (1988). Judgments of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 95(4), 528–551.
- Jacoby, L. L., Kelley, C. M., & Dywan J. (1989). Memory attributions. In H. L. Roediger & F. I. M. Craik (Eds.), *Varieties of memory and consciousness: Essays in honour of Endel Tulving* (pp. 391–422). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kobbert, M. J. (1986). *Kunstpsychologie: Kunstwerk, Künstler und Betrachter*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Kreitler, H., & Kreitler, S. (1980). *Psychologie der Kunst*. Stuttgart: W. Kohlhammer.
- Kunst-Wilson, W., & Zajonc, R. B. (1980). Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Science*, 207(4430), 557–558.
- Langley, P., Laird, J. E., & Rogers, S. (2009). Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10, 141–160.
- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., & Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*, 95, 489–508.
- Mandler, G., Nakamura, Y., & van Zandt, B. J. (1987). Nonspecific effects of exposure on stimuli that cannot be recognized. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(4), 646–648.
- Maslow, A. H. (1954). *Motivation and Personality*. New York: Harper.
- Neath, I., & Surprenant, A. M. (2003). *Human memory: An introduction to research, data, and theory* (2nd). Belmont, CA: Thomson/Wadsworth.
- Neisser, U. (1974). *Kognitive Psychologie*. Stuttgart: Klett.
- Newell, A. (1973). You can't play 20 questions with nature and win. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.
- Newell, A. (1994). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1961). GPS, A Program that Simulates Human Thought. In H. Billing (Ed.), *Lernende Automaten*. München: Oldenbourg.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*, 19(3), 113–126.
- Oestereich, B., & Bremer, S. (2009). *Analyse und Design mit UML 2.3: Objektorientierte Softwareentwicklung* (9., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Raab, E. (1976). *Bildkomplexität, Farbe und ästhetischer Eindruck*. Graz.

- Raab, M., Imhof, M., & Carbon, C. C. (2011). Eyes for an agent: Simulation of dynamically evolving preferences for visual stimuli by a neural network and a multiple-trace memory model. *Perception, 40* (Suppl.).
- Raab, M., Wernsdorfer, M., & Kitzelmann, E. S. U. (2011). From Sensorimotor Maps to Rules: An Agent Learns from a Stream of Experience. *Lecture Notes in Computer Science, 6830*, 333–339.
- Reber, R., Schwarz, N., & Winkielman, P. (2004). Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? *Personality and Social Psychology Review, 8*(4), 364–382.
- Schwarz, N., & Clore, G. L. (2006). Feelings and phenomenal experiences. In A. W. Kruglanski & E. T. Higgins (Eds.), *Social psychology. Handbook of basic principles* (2nd ed., pp. 385–407). New York: Guilford Press.
- Smolensky, P. (1988). On the proper treatment of connectionism. *The Behavioral and Brain Sciences, 11*, 1–23.
- Sokolowski, K. (2002). Emotion. In J. Müsseler (Ed.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Sun, R. (2002). *Duality of the mind: A bottom-up approach toward cognition*. Mahwah, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Sun, R. (2006). The CLARION Cognitive Architecture: Extending Cognitive Modeling to Social Simulation. In R. Sun (Ed.), *Cognition and multi-agent interaction. From cognitive modeling to social simulation* (pp. 79–99). Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Sun, R. (Ed.). (2008). *The Cambridge handbook of computational psychology*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Taatgen, N. A., & Anderson, J. R. (2008). Constraints in Cognitive Architectures. In R. Sun (Ed.), *The Cambridge handbook of computational psychology* (pp. 170–185). Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Tamura, H., Mori, S., & Yamawaki, T. (1978). Textural Features Corresponding to Visual Perception. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-8*(6), 460–473.
- Whittlesea, B. W. A. (1993). Illusions of familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*(6), 1235–1253.
- Winkielman, P., Schwarz, N., Fazendeiro, T. A., & Reber, R. (2003). The hedonic marking of processing fluency: Implications for evaluative judgment. *Psychology Of Evaluation, 189–217*.
- Zajonc, R. B. (1968). *Attitudinal effects of mere exposure*. Washington: American Psychology Association.
- Zajonc, R. B. (1998). Emotions. In D. T. Gilbert, S. T. Fiske, & G. Lindzey (Eds.), *The handbook of social psychology* (pp. 591–632). Boston, MA: The McGraw-Hill.

Anhang

Anhang 1: JAVA-Quellcode der PsiCasso-Simulation (als ECLIPSE-Projekt)

Anhang 2: Stimulusmaterial

Anhang 3: Rohdaten des Simulationslaufs

Siehe beigelegte DVD-Rom.

Erklärung

Ich erkläre hiermit gemäß § 19 Abs. 6 der Diplom-Prüfungsordnung, dass ich die vorstehende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

(Datum)

(Unterschrift)