# Das Leben von Ψ

## Über das Zusammenspiel von Kognition, Emotion und Motivation – oder: Eine einfache Theorie komplexer Verhaltensweisen

**Dietrich Dörner, Harald Schaub & Frank Detje**

Institut für Theoretische Psychologie, Universität Bamberg

**Zusammenfassung:**

Nachfolgend wird eine Theorie geschildert, die in einfacher Weise die Erklärung einer Fülle komplizierter Verhaltensweisen und anderer psychischer Phänomene gestattet. Einfach ist die Theorie in mehrerlei Hinsicht: **Erstens** gibt es nur ein einziges Grundelement der Informationsverarbeitung, nämlich das (theoretische) Neuron. Alle Arten von Speicherungen und alle Arten von Gedächtnisprozessen werden neuronal realisiert. **Zweitens** gibt es nur ein einziges "Gedächtnisformat", d.h. nur eine Form, in der sich Neuronen zu größeren Gebilden zusammenschließen können, um z.B. sensorische Schemata oder Verhaltensprogramme zu bilden. **Drittens** gibt es keine Unterscheidung zwischen verschiedenen Gedächtnisinstanzen, also keine Unterscheidung von Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis, episodischem oder konzeptuellem Gedächtnis oder einem Arbeitsgedächtnis. Das heisst allerdings nicht, dass das Gedächtnis die Funktionen der aufgezählten Instanzen nicht wahrnehmen kann; man kann die verschiedenen Gedächtnisinstanzen vielmehr als ephemere *Phasen* eines einheitlichen Gedächtnissystems auffassen. **Viertens** gibt es nur wenige und sehr einfache Prozesse, die über dem Gedächtnis arbeiten und 'Denken' und generell organisiertes Verhalten hervorbringen. Diese einfachen Prozesse können allerdings in sehr vielfältiger Weise moduliert und kombiniert werden, so dass sehr komplexe Verhaltensweisen modelliert werden können. — Die Theorie erklärt zielgerichtetes Verhalten genau so gut wie viele verschiedene Formen emotional modulierten Verhaltens, wie z.B. das Verhalten bei Angst, Panik oder Stress. Weiterhin können Persönlichkeitsunterschiede aufgrund der Theorie dargestellt werden. Die Erklärung sozialer Phänomene ist im Rahmen der Theorie ebenfalls möglich.

## Einleitung

Denkt man nur, wenn man denkt oder gibt es da noch mehr? Fühlt man nur, wenn man fühlt oder denkt man manchmal auch beim Fühlen? Und erinnert man sich einfach nur so oder ereignet es sich nicht häufig beim Erinnern, dass Gefühle dabei auftauchen? Z.B. das Gefühl der Hilflosigkeit, wenn man sich nicht mehr an das erinnern kann, woran man sich erinnern will. — Worauf wollen wir hinaus? Darauf dass man in der Psychologie die verschiedenen psychischen Prozesse nicht ungestraft in ihre Bestandteile zerlegen darf. Es gibt keinen auch nur etwas ausgedehnten Denkprozess, bei dem man sich nicht auch ärgern würde (weil man die Lösung nicht findet) oder bei dem man nicht stolz auf einen Lösungseinfall wäre. Und sich

dann wieder ziemlich hilflos fühlt, wenn es dann doch nicht so geht. — Vielleicht möchte man zunächst wirklich das Problem lösen, wenn es sich aber erweist, dass das Problem nicht lösbar ist, will man sich wenigstens nicht blamieren; es wechselt also das Motiv. — Also: Denken, Fühlen, Wollen sind gewöhnlich innig verschränkt und man tut nicht gut daran, sie isoliert zu betrachten. Vielmehr braucht man eine psychologische Gesamttheorie, um das Zusammenspiel der verschiedenen Prozesse zu erklären. Allein mit einer "einheitlichen Theorie der *Kognition*", wie sie Newell (1973, 1990) fordert, ist es nicht getan. Wie aber kann man sich eine solche Theorie des Zusammenspiels der verschiedenen psychischen Prozesse vorstellen? Auf diese Frage wollen wir in diesem Artikel eine Antwort geben.

## 1. Ψ in seiner Welt

*Ψ (PSI) hat Durst! —Wie kann es sich etwas zum Trinken verschaffen? Dunkel fällt ihm ein: irgendwie war das an einem Platz mit einem Grasbüscheln im Vordergrund, einem Baum und einem Strauch rechts oder so ähnlich möglich. Vielleicht war aber da auch eine Höhle? So genau weiss es das nicht mehr. Aber so etwas Ähnliches sollte man anstreben! — Im Augenblick befindet sich Ψ an einem Platz mit vielen Dünen, einer Pflanze und einem Kohlkopf. Wie kann es zu dem Platz mit den Grasbüscheln und dem Baum kommen? — Es fällt ihm einfach nichts ein! Aber es muss dorthin! —Wieso geht das nicht? Ψ probiert herum, denkt nicht mehr viel und verletzt sich unabsichtlich, da es zu einem Platz kommt, wo Steine von den morschen Felswänden herabprasseln. Und eigentlich kennt es diesen Platz und weiss, ihn zu meiden. Aber jetzt? Unter diesem Bedürfnisdruck? Ψ guckt weder rechts noch links. ...*

Das ist eine Episode aus dem Leben von **Ψ**. **Ψ** lebt in einer Landschaft, deren Plätze solche Merkmale aufweisen, wie eben beschrieben.

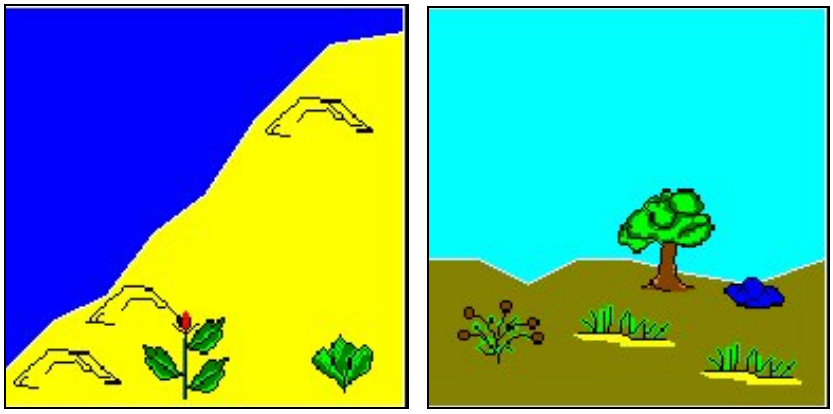

**Abbildung 1:** Zwei Situationen in der Welt von **Ψ**.

Es gibt Bäume und Büsche, Gras oder Blumen, Steinhaufen oder Äste, Pfützen, Teiche oder Höhlen. Die "Plätze" der Landschaft, in der **Ψ** lebt, sind Kombinationen aus jeweils verschiedenen Komponenten; links hinten befindet sich beispielsweise entweder ein Wald von Laub-

bäumen oder ein einzelner Nadelbaum, links vorn eine Grasfläche oder Blumen, in der Mitte ein Teich oder eine Höhle, daneben ein Stein- oder Sandhaufen, rechts hinten kann sich ein Laubbusch oder ein Strauch mit Haselnüssen befinden und rechts vorn ein Asthaufen oder ein Gemüsebeet. Abbildung 1 zeigt zwei mögliche Plätze.

Es gibt 45 verschiedene "Plätze" (Orte, oder Situationen) in der aktuellen Welt von **Ψ**. **Ψ** nimmt die Objekte einer Situationen wahr, in dem es die Punkte der Gegebenheiten als Kombinationen elementarer Muster verarbeitet (Schemata). Die aktuelle Implementation von PSI verarbeitet nur die Schwarz-Weiss-Information der Ansichten. Durch einen Vergleich mit bereits gespeicherten Schemata ist PSI in der Lage, Objekte wiederzuerkennen. Auf Grund der spezifischen räumlichen Anordnung von Objekten in einer Situation ist PSI auch in der Lage, Orte wiederzuerkennen. Dazu später mehr.

In einer solchen Welt muss **Ψ** „leben" und sich zurechtfinden. Es muss seinen Hunger (=Energiebedürfnis) und sein Flüssigkeitsbedürfnis befriedigen. Bestimmte Situationen sind dafür geeignet. Z.B. kann **Ψ** "trinken", wenn es auf einen Platz mit einem Laubbaum, zwei Grasbüscheln, einem Strauch mit Haselnüssen und einer Wasserlache kommt. Der Wasserlache kann man sich nähern, den Saugrüssel ausfahren, und dann das Wasser schlürfen.

Wie aber kann **Ψ** von einer Situation zu einer anderen kommen? Dafür gibt es bestimmte *Richtungsoperatoren*. Operatoren im allgemeinen sind die Handlungsmöglichkeiten, über die **Ψ** verfügt. Wir haben **Ψ** acht Richtungsoperatoren für die Himmelsrichtungen (N, NW, W, SW, S, SO, O, NO) mitgegeben. Es kann z.B. "**O**" wählen. "**O**" lässt **Ψ** bspw. von einer Situation mit einem Baum und einer Pfütze zu einer Situation mit zwei Bäumen und zwei Pfützen gelangen (siehe Abbildung 2).

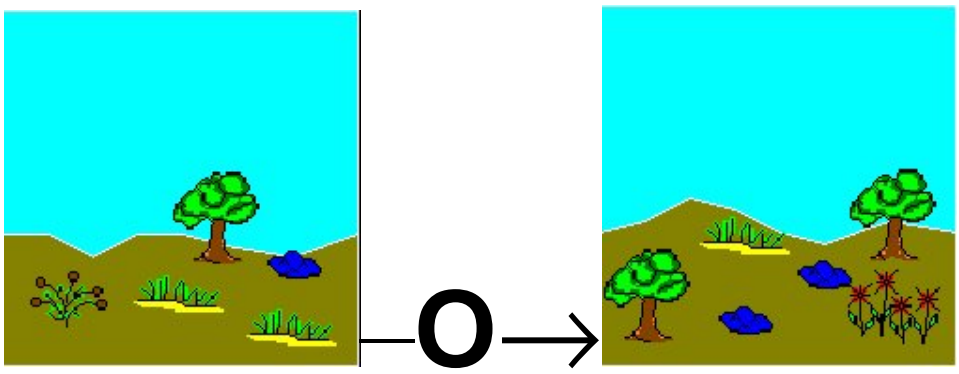


**Abbildung 2:** Bewegungen in der Welt von **Ψ**.

Doch dies gelingt nicht unbedingt in jeder Situation mit einem Baum und einer Pfütze. Gegebenenfalls gelingt dies nur, wenn auch zwei Grasbüschel vorhanden sind. Das bedeutet: **O** ist ein "bedingter" Operator; nur unter bestimmten Umständen gelangt man mit ihm an einen anderen Ort.

Solche Operatoren kann man als *Bewegungen* in einer Landschaft auffassen; die "Wandlung" der Situation besteht einfach darin, dass man den Ort wechselt. Andere Operatoren sind "Objektwandler", also Manipulationen, mit denen man die Gestalt eines Objektes verändert, so wie man mit einem Dosenöffner die Beschaffenheit einer Konservendose verändern kann.

In der Beispielswelt, in der wir **Ψ**s Verhalten demonstrieren wollen, gibt es fünf weitere Operatoren, mit denen **Ψ** auf seine Umwelt einwirken kann (**Nehmen, Sieben, Saugen, Hämmern, Schütteln**). Z.B. hat der Operator **Schütteln** folgende Wirkungsweise (siehe Abbildung 3):

**Abbildung 3:** Anwendung eines Operators zur Objektwandlung in der Welt von **Ψ**.

Um ein Objekt der Welt manipulieren zu können, muss **Ψ** sich erst diesem Objekt annähern. Dafür hat es den „Zoom"- bzw. „Aggress"-Operator. Nach der Annäherung kann **Ψ** seine verschiedenen Operatoren an diesem Objekt ausprobieren, gegebenenfalls auch mehrfach hintereinander. Um ein anderes Objekt einer Situation oder einen der Richtungsoperatoren anwenden zu können, um zu versuchen den aktuellen Ort zu verlassen, muss **Ψ** sich erst wieder vom Objekt entfernen. Hierfür besitzt **Ψ** den „weg"- bzw. „Regress"-Operator.

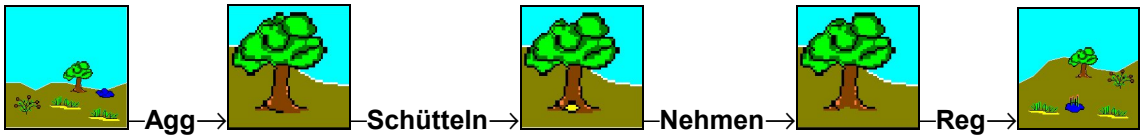


**Abbildung 4:** Eine erfolgreiche Handlungssequenz von **Ψ**.

Die Welt von **Ψ** ist eine Insel mit verschiedenen Orten, in welchem es sich durch Anwendung der Richtungsoperatoren bewegen kann. Bestimmte Abschnitte der Insel, ähneln einem Labyrinth, **Ψ** kann in bestimmten Gegenden im Kreis laufen. Es gibt Plätze mit vielen und solche mit wenigen Abzweigungen. **Ψ** muss lernen, dass bestimmte Plätze als Ziele geeignet sind, weil dort Nahrung oder Wasser zu finden ist. Einige Plätze sollt **Ψ** jedoch vermeiden. Hier nimmt es Schaden durch herabstürzende Felstrümmer oder Äste.

**Ψs** "Welten" können viele verschiedene Merkmale haben. Sie können einfach oder kompliziert sein. Wenn z.B. viele Operatoren an bestimmte Bedingungen gebunden sind, dann ist eine "Welt" komplizierter, als wenn die Operatoren "unbedingt" angewendet werden können. Und wenn eine "Welt" gekennzeichnet ist durch viele Schadens- und wenige Befriedigungssi-

tuationen, dann ist sie unangenehmer (weil mehr Bedürfniszustände erzeugt werden), als wenn an jeder Ecke eine Bedürfnisbefriedigung möglich ist.

**Ψ** *kann* sich aber nicht nur in seiner Welt bewegen; es *muss* sich bewegen (Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus einer konkreten Umwelt). Denn es muss beispielsweise Energie auftanken. Energie gibt es z.B. an einem Platz mit Sonnenblumen. **Ψ** verbraucht ständig Energie und deshalb muss es ab und zu Orte mit Sonnenblumen oder Haselnüssen aufsuchen und diese **Nehmen**, um dadurch seine Energievorräte zu ergänzen. Leider kann aber **Ψ** nicht einfach in einer Situation mit Energie bleiben, um auf diese Art und Weise Energie, wenn sie zur Neige gehen sollte, immer wieder aufzutanken. Vielmehr hat **Ψ** ausser einem Energie- auch noch ein Wasserbedürfnis. Es verbraucht ständig Wasser und es muss deshalb seine Wasservorräte ergänzen. Und auch das ist innerhalb der Welt von **Ψ** möglich, nämlich an Plätzen mit Wasserlachen oder Pfützen.

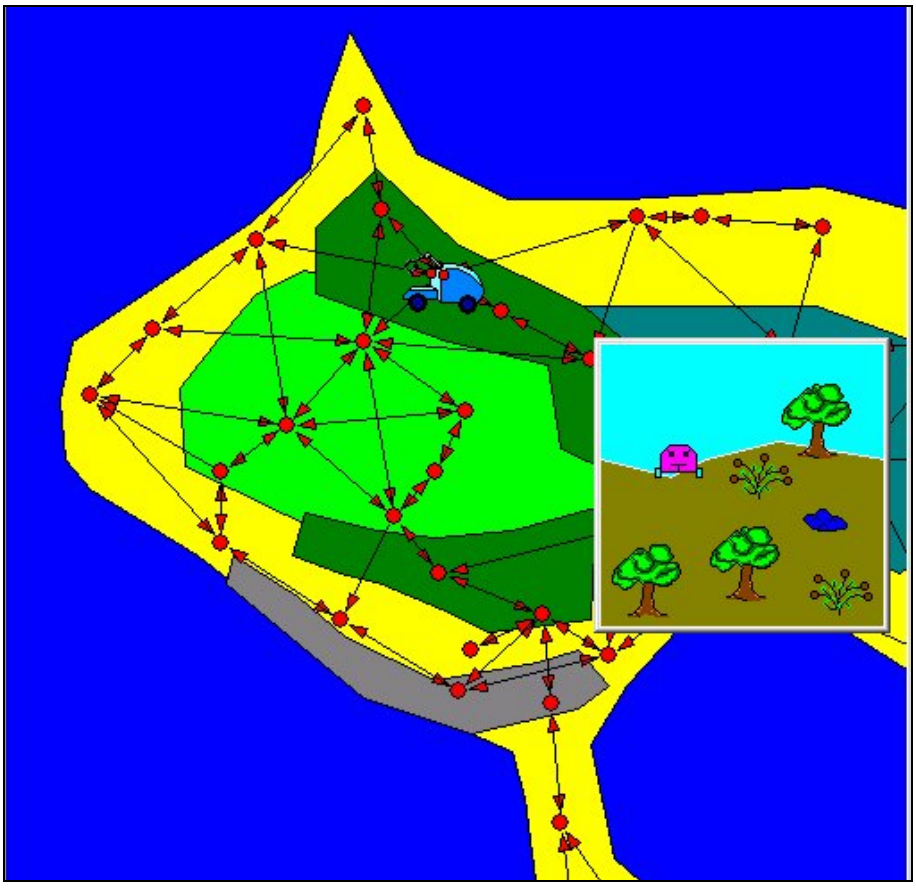

**Abbildung 5:** Ein Ausschnitt der ”Insel” als Beispiel für eine konkrete Lebensumwelt von **Ψ**. Eingeblendet ist das aktuelle Sichtfeld von **Ψ. Ψ** selbst ist das kleine blaue Fahrzeug ( ).

Energie- und Wasserplätze sind potenzielle *Ziele* für **Ψ**; Ziele die dann bedeutsam sind, wenn **Ψ** ein Energie- oder ein Wasserbedürfnis hat. Es sollte diese Orte dann anstreben. Es gibt aber – wie gesagt – andere Plätze, die **Ψ** vermeiden sollte, denn an diesen Plätzen treten Schmerzen auf. **Ψ** wird das Bestreben haben, solche Plätze zu meiden, wenn es sie erst einmal ken-

nengelernt hat. Die Welt von **Ψ** ist also nach einem relativ komplexen Regelwerk aufgebaut. Wenn es diese Regeln aber gelernt hat und ausserdem die Energie- und die Wasserplätze und auch die (zu vermeidenden) “Schmerzplätze” kennt, so kann es sich in seiner Welt so bewegen, dass es seine Bedürfnisse befriedigen kann.

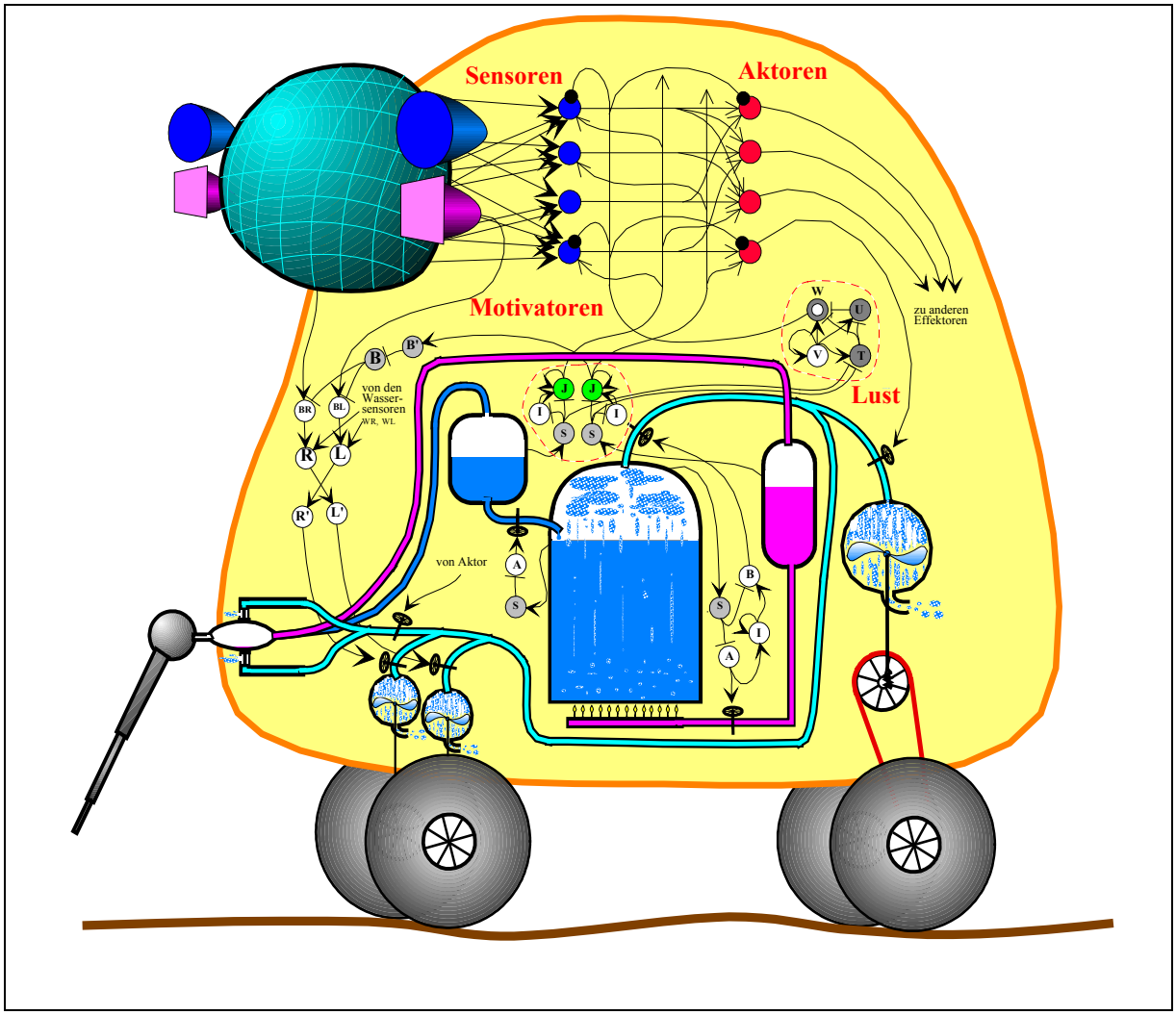


**Abbildung 6: Ψ** dargestellt als Modell einer Dampfmaschine.

Wer ist **Ψ** überhaupt? Ein Lebewesen?– **Ψ** ist eine Dampfmaschine – Abbildung 6 zeigt, wie **Ψ**s aussehen könnte. **Ψ** hat Räder, auf denen es in der Gegend umherfahren kann. Ausserdem hat es Sinnesorgane; eine Art großes Auge und zwei paarig angeordnete nasenähnliche Organe, das eine zum Erschnuppern von Luftfeuchtigkeit und das andere zur Ermittlung von Öldüften. Die Dampfmaschine muss sich mittels ölhaltige Pflanzen am Leben halten (statt mit Pilzen, wie Todas (1980) “emotional fungus eater”). — Die Maschine braucht Wasser und Brennstoff; das sind ihre Grundbedürfnisse. Im Inneren von **Ψ** sieht man einen Dampfkessel und einen Brenner, mit deren Hilfe **Ψ** den Dampf erzeugt, den es für seine Motorik, also die zahlreichen Turbinen braucht. Warum haben wir **Ψ** als Dampfmaschine konzipiert? Damit soll gezeigt werden, dass die Prinzipen, die in **Ψ** eingebaut sind, sehr allgemeine Prinzipen

von Lebewesen sind. Man kann durch die Realisierung bestimmter "Prinzipien" somit ein Gebilde lebendig machen kann, welches normalerweise nicht lebendig ist.

**Ψ**s Fähigkeit sich zu bewegen, sich in seiner Umwelt zurechtzufinden, dient zunächst keinem anderen Zweck, als eben diese Fähigkeit zu haben und zu erhalten, also sich bewegen zu können, um Wasser und Brennstoff, deren **Ψ** zum Zwecke des Erwerbs von Wasser und Brennstoff bedarf, zu erwerben. Der Zweck von **Ψ**s Bestrebungen ist zunächst einmal nur, seine "Bestrebungsfähigkeit" zu erhalten. Und dafür braucht es Wasser und Öl. Ausserdem sollte es sich vor Wegstrecken hüten, auf denen seine Achsen bzw. deren Lager ausschlagen könnten oder seine Aussenhaut Schaden nehmen könnte (z.B. durch Steinschlag).
**Ψ** ist flexibel und kann in einer beliebigen Welt, deren Muster es wahrnehmen kann, in der es nach Öl und Wasser schnüffeln kann, überleben. Wir wollen an dieser Stelle nicht die vielen Definitionen für "Leben" sichten. Wenn aber **Ψ** sich wirklich in einer Umwelt zurechtfinden und aktiv bleiben kann; 'lebt' es dann nicht? Es ist doch selbständig aktiv, hat einen Stoffwechsel, sucht nach Wasser und Brennstoff, die es verbraucht und ergänzen muss. Es vermeidet bestimmte Plätze und strebt andere an. **Ψ** ist zweifellos ein 'autonomes Wesen'. Es lebt selbstbestimmt, ohne dass sich jemand um es kümmert. Dies ist ganz im Sinne der Ansätze zum „künstlichen Leben". Langton (1989) z.B. charakterisiert künstliches Leben als „…a field of study devoted to understanding life by attempting to abstract the fundamental dynamical principles underlying biological phenomena, and recreating these dynamics in other physical media — such as computers — making them accessible to new kinds of experimental manipulation and testing".)

"Die Seele ist das Prinzip des Lebendigen!" stellte Aristoteles (1995, S. 37, 415b) fest. Die Seele ist – so Aristoteles – das, was dem Körper 'Form' gibt, nicht Form im Sinn der sichtbaren Gestalt, sondern 'Form' im Sinn der zielgerichteten Bewegung, im Sinne der Form des "Strebens", wie Aristoteles es nennt (1995, S. 28, 412a). Die Seele gibt dem Verhalten 'Form'. Im aristotelischen Sinn hat **Ψ** eine Seele, da ein 'Prinzip des Strebens' sein Verhalten bestimmt. — Wir wollen hier nicht diskutieren, ob danach nicht schon einen Kühlschrank "lebendig" ist und eine "Seele" hat, da er ja zweifellos auch einen bestimmten Zustand anstrebt. Man kann zeigen, dass man durch konsequente Fortentwicklung eines Regelkreises zu Systemen kommt, denen man das Attribut "lebendig" kaum absprechen kann (siehe Dörner, 1999; Dörner et al., i.Vorb.; Schaub, 1996).

Wie sieht dies "Prinzip" aus? Ein wenig davon ist in Abbildung 6 erkennbar. **Ψ** hat ein Nervensystem. Abbildung 6 zeigt ein sensorisches und ein motorisches System, die miteinander verknüpft sind. Und ausserdem ist ein "motivatorisches System" vorhanden, welches mit dem Füllungsstand des Wasser und des Brennstofftanks verbunden ist. Weiterhin ist ein "Lust-Unlust - System" erkennbar, welches mit dem motivatorischen System zusammenhängt. — Nun ist die Darstellung in Abbildung 6 nur eine Andeutung der Prinzipien, nach denen sich

das Leben von **Ψ** gestaltet. Wir wollen in den nachfolgenden Abschnitten auf diese Prinzipien genauer eingehen.

## 2. Die Prinzipien des Lebens von Ψ

Abbildung 7 zeigt die "Lebensprinzipien" von **Ψ** und ihre Verflechtung etwas genauer. Man sieht unten die Bedürfnissysteme, die **Motivatoren**. Diese beeinflussen die Wahrnehmung und das Handeln von **Ψ** und dabei spielt das Gedächtnis eine Rolle und ausserdem bestimmte andere Variablen, wie "Aktivierung", "Auflösungsgrad", "Selektionsschwelle".

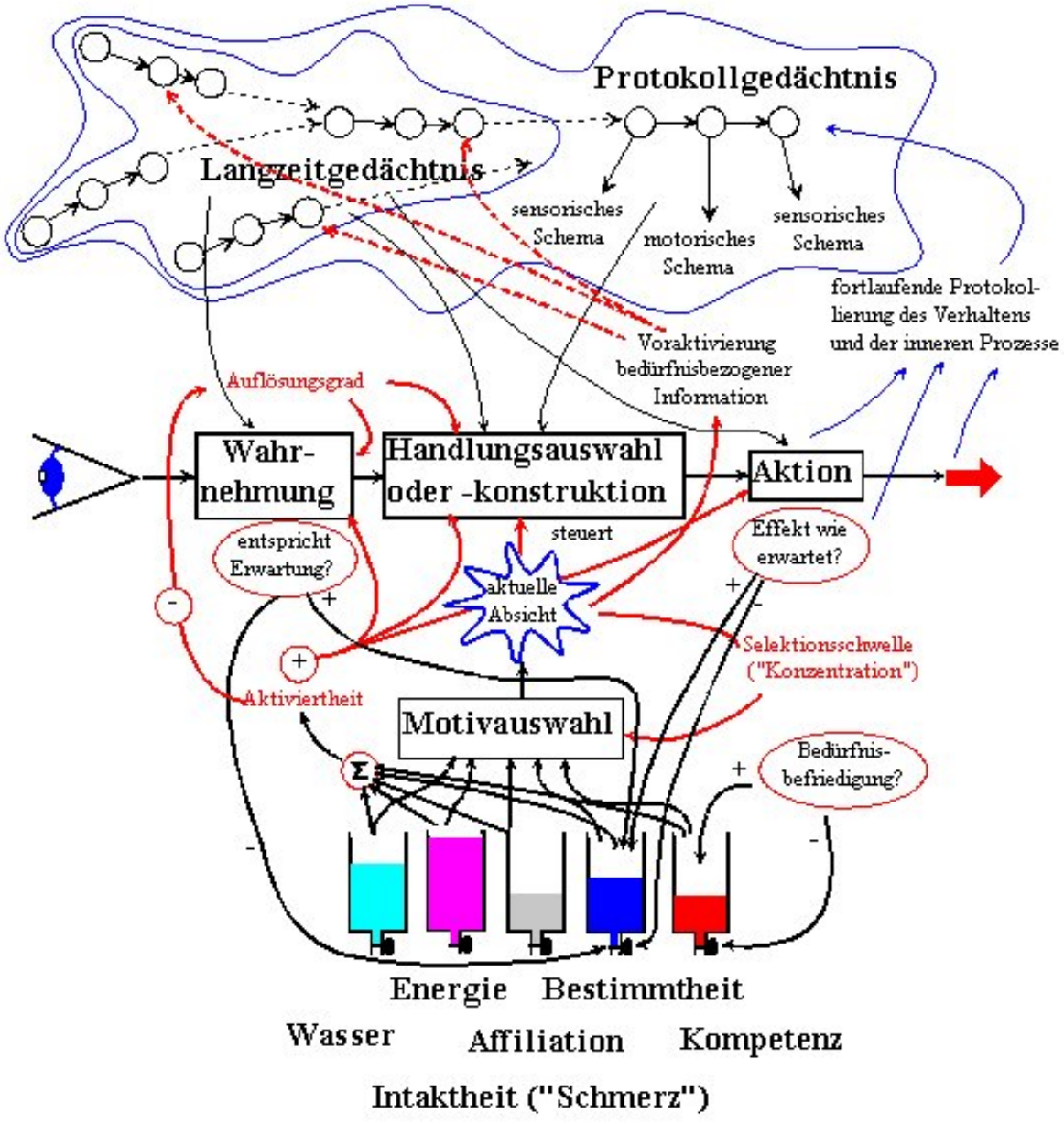


**Abbildung 7:** Eine Übersicht über die Struktur von **Ψ**.

Abbildung 7 stellt verschiedene Hypothesen über das Zusammenwirken kognitiver (= erkenntnisgerichteter) und energetisierender (= motivationaler) Prozesse in einem Lebewesen dar. Wir wollen die Prinzipien dieses Zusammenwirkens im Folgenden genauer beschreiben.

## 2.1 Bedarf, Bedürfnis, Motiv

**Ψ** hat bestimmte Bedürfnisse. **Ψ** hat z.B. – damit begannen wir ja diesen Aufsatz – Durst. Es braucht Flüssigkeit. Und ausserdem braucht es Energie; in **Ψ**s Fall ist das Brennstoff für die Kesselheizung, also Öl. Und dann sollte **Ψ** Schmerzen vermeiden. Schmerzen stellen sich bei Strukturverletzungen ein, wenn die Aussenhaut von **Ψ** verletzt wird oder z.B. die Lager der Achsen beschädigt werden. Für solche Schädigungen hat **Ψ** Sensoren und es versucht, die Umstände zu vermeiden, unter denen diese Sensoren aktiv werden. — Die Bedürfnisse nach bestimmten Stoffen und das Bedürfnis, schädigende Umgebungen zu vermeiden, sichern die Existenz von **Ψ** und zur Not kommt es damit aus. Besser für die Überlebenschancen von **Ψ** aber wäre es, wenn wir **Ψ** über diese Bedürfnisse hinaus noch mit weiteren ausstatten würden; nämlich mit bestimmten "informationellen" Bedürfnissen.

Wasser und Brennstoffbedürfnis sind "materielle" Bedürfnisse, Bedürfnisse nach bestimmten Formen der Materie bzw. nach Aufrechterhaltung einer bestimmten Struktur derselben (Unversehrtheit der Aussenhaut z.B. bei dem Bedürfnis nach Schmerzvermeidung). "Informationelle" Bedürfnisse sind Bedürfnisse nach Informationen. In Abbildung 7 haben wir unten das Bedürfnissystem von **Ψ** als eine Ansammlung von Wasserkesseln veranschaulicht und man sieht rechts unten, an welche Art von Bedürfnissen wir denken, wenn wir von "informationellen" Bedürfnissen sprechen. Man sieht dort einen "Bestimmtheits-", einen "Kompetenz-" und einen "Affiliationskessel". — Solche "Kesselmodelle" der Bedürfnisse (zum erstem Mal unseres Wissens von Konrad Lorenz verwendet) sind anschauliche Bilder "gleitender" Akkumulatoren, also Bilder von Systemen, in die irgendetwas hinein- oder herausfließt und deren Pegel geregelt werden muss. Wir wollen uns zunächst einmal vor Augen führen, wie Bedürfnisse wirken.

Ein Bedürfnis ist nichts anderes als die Meldung, dass eine Variable von ihrem Sollzustand abweicht; in dem Wasserkesselmodell der Abbildung 7 also, dass der Wasserpegel unter die Sollmarke abgesunken ist. Die Differenz zwischen Ist- und Sollzustand ist der "Bedarf" (siehe Bischof, 1985). Ein Bedürfnis signalisiert also, dass ein Bedarf eines bestimmten Ausmaßes vorhanden ist. Das Vorhandensein eines Bedürfnisses bedeutet, dass bei **Ψ** ein *Motivator* aktiv wird. (Diese Motivatoren sind in der Abbildung 6 nur als die Pfeile sichtbar, die von den Wassertanks zu der Einheit "Motivselektor" führen.) Ein Motivator akkumuliert die Signale über die Abweichung des Ist- vom Sollzustand, die ein Sensor (für den Pegelstand) liefert. Ein Motivator ist also um so aktiver, je größer die Sollwertabweichung ist (je niedriger also der Wasserpegel im Tank ist) und je länger die Abweichung schon andauert. Wir berechnen diese

Akkumulation logarithmisch; jeweils zu einer bestimmten Zeiteinheit ist die Aktivität des Motivators der Logarithmus der Summe der Abweichungssignale. Auf diese Weise wird das Wachstum der Aktivität des Motivators in Grenzen gehalten; seine Aktivität wächst erst stark, dann aber immer weniger.

Der Motivator versucht nun, die Handlungssteuerung von **Ψ** zu übernehmen, um solche Handlungen in Gang zu setzen, die dazu führen, dass das Bedürfnis befriedigt wird. Dies geschieht gewöhnlich durch eine "konsummatorische Endhandlung", in der Regel durch das Aufnehmen bestimmter Stoffe. Der Motivator strebt also die Gelegenheit zu einer "konsummatorischen Endhandlung" an. Dies geschieht gewöhnlich dadurch, dass ein **Ziel** verfolgt wird. Ein Ziel ist eine Situation, die eine konsummatorische Endhandlung ermöglicht. Ziele "kennt" der Motivator dadurch, dass er mit bestimmten sensorischen Schemata im Gedächtnis von **Ψ** verbunden ist; solche Verbindungen ergeben sich ganz einfach aus der Erfahrung, die **Ψ** im Laufe seines Lebens macht. — Wenn also **Ψ** in der Situation mit dem Laubbaum, den Grasbüscheln, der Pfütze und dem Haselstrauch links in Abbildung 1 die Gelegenheit zum Öl-"verzehr" hatte, so wird dieser Platz (genauer: seine Gedächtnisabbildung!) mit dem Energiemotivator gekoppelt und dadurch zum Ziel, welches **Ψ** anstreben wird, wenn es erneut "Hunger" bekommt. Mit Zielen gibt es in **Ψ** nicht nur Bedürfnisse, sondern auch *Motive*; ein Motiv ist eine Instanz, welches ein Handeln in Gang setzen, auf ein bestimmtes Ziel ausrichten und (bis zur Zielerreichung) aufrechterhalten kann (siehe Madsen, 1974). — Es gibt auch "negative" Ziele, zu vermeidende Situationen; das sind Situationen oder Plätze, in denen die Vergrößerung eines Bedürfnisses der Fall war, in denen **Ψ** also z.B. Schäden erlitt. **Ψ** wird solche Plätze in Zukunft vermeiden. — Wie das "Streben" nach einem Ziel im einzelnen aussieht, werden wir in dem Abschnitt "Handlungsregulation" noch genau beschreiben.

Es ist nicht sicher, dass ein bestimmter Motivator ohne weiteres die Handlungsleitung übernehmen kann, wenn er aktiv wird, denn er hat ja Konkurrenten, die das gleiche versuchen. **Ψ** verfügt über eine Funktion, um solche Konkurrenzkämpfe zu entscheiden; diese Funktion ist der *Motivselektor*, den man in Abbildung 7 über den "Motivkesseln" sieht. Dieser wählt jeweils einen der Motivatoren aus und lässt ihn zur Handlungsleitung zu. Diese Wahl geschieht nach dem "Erwartungs × Wert - Prinzip". Das bedeutet folgendes: der Motivselektor gewährt demjenigen Motivator den Zugang zur Handlungsleitung, dem das *stärkste* Bedürfnis (das ist das mit dem augenblicklich größten "Wert") zugrunde liegt und bei dem das Streben nach der konsummatorischen Endhandlung den augenblicklich größten Erfolg verspricht (Erfolgs*erwartung* am größten). Diese beiden Größen werden im einfachsten Fall multipliziert und ergeben die *Motivstärke* eines Bedürfnisses; es wird das Bedürfnis mit der maximalen Motivstärke ausgewählt.

Der Grund für die Auswahl nach dem Erwartungs × Wert - Prinzip ist folgender: Die Befriedigung eines starken Bedürfnisses ist für das System wertvoller als die Befriedigung eines schwachen und zusätzlich ist es natürlich sinnvoller, einem Bedürfnis nachzugehen, das mit

einiger Aussicht auf Erfolg befriedigt werden kann, als einem solchen, bei dem das Ziel (die Ausführung der konsummatorischen Endhaltung) augenblicklich kaum erreichbar erscheint. — Wovon die Stärke eines Bedürfnisses abhängt, kann man aus der Abbildung 7 leicht ersehen. Sie ist proportional der Abweichung des Pegelzustandes von dessen Sollzustand.

Zusätzlich könnte man sie bedürfnisspezifisch gewichten, also z.B. die "existentiellen" Bedürfnisse stärker gewichten als die "informationellen". Man kann ausserdem die Bedürfnisstärke als Integral der Sollwertabweichungen über die Zeit bestimmen, so dass eine lang andauernde kleine Sollwertabweichung stärker wiegt, als eine kurzfristige große.

Auf die Weise, wie die *Erfolgserwartung* für ein bestimmtes Bedürfnis berechnet werden kann, gehen wir später ein.

Bedürfnisse beziehen sich auf bestimmte Größen, deren Abweichung von einem Sollzustand **Ψ** in Grenzen zu halten versucht. In Abbildung 7 sind diese Variablen als Flüssigkeitspegel in den Tanks dargestellt. Der Pegel der Tanks von Abbildung 7 kann Verschiedenes darstellen. Der Pegel kann die Energievorräte von **Ψ** indizieren; je mehr er absinkt, um desto weniger Energie verfügt **Ψ** und um so mehr bedarf **Ψ** der Energiezufuhr. In gleicher Weise könnte der Pegel natürlich auch für ein echtes Wasserbedürfnis stehen; je geringer der Pegelstand, desto mehr wird es notwendig, die Wasservorräte aufzufüllen.

In diesen Beispielen indiziert der Pegelstand stoffliche Größen. Der Pegel kann aber auch informationelle Größen indizieren; z.B. "Bestimmtheit". Man stelle sich vor, dass bei jedem "Unbestimmtheitssignal" ein wenig Flüssigkeit aus dem entsprechenden Kessel abgelassen wird. Jedes "Bestimmtheitssignal" würde aber dem Kessel etwas Flüssigkeit hinzufügen. Eine solche Regelung würde dazu führen, dass sich dann, wenn sich Unbestimmtheitssignale häufen, der Kessel ziemlich entleert. Dahingegen wird der Kessel dann, wenn sich die Bestimmtheitssignale häufen, bald angefüllt sein. Was sind nun "Bestimmtheits-" bzw. "Unbestimmtheitssignale"? Ein "Unbestimmtheitssignal" ist ein Ereignis, in dem eine Erwartung enttäuscht wird, in der also ein Ereignis auftritt, welches so nicht erwartet wurde oder in der eine Handlung eine Folge hat, die so nicht erwartet wurde.

Bestimmtheits- und Unbestimmtheitssignale (B- und U-Signale) können "material-qualitativ" von ganz verschiedener Art sein: wenn ich einen Stein ins Wasser werfe und dieser Stein erzeugt konzentrische Wellen, so ist die Tatsache, dass dieses Ereignis so eintritt, wie erwartet, ein B-Signal. Und wenn ich auf dem Marktplatz ein Stück Brötchen fallen lasse und eine nahebei trippelnde Taube stürzt sich auf den Brötchenrest, so ist das gleichfalls ein B-Signal. Wenn sich die Wolken, die sich zu dichten Knäueln zusammengeballt haben, schließlich in einem wilden Gewitter entladen, welches mich bis auf die Haut durchnässt, so ist das ebenfalls ein B-Signal. Das ist zwar unangenehm, aber genau so habe ich es vorausgesehen!

Eine wichtige Form eines U-Signals ist das Nichtwissen über die in einer bestimmten Situation anwendbaren Operatoren oder das Unwissen über Ziele. Wenn also **Ψ** zwar ein bestimmtes

Bedürfnis hat, aber nicht weiss, welche Ziele es anstreben muss, um das Bedürfnis zu befriedigen, so ist die Tatsache, dass es **Ψ** nicht gelingt, Ziele aufzurufen, ein U-Signal. Und wenn **Ψ** zwar Ziele hat, aber nicht weiss, was es in einer bestimmten Situation tun soll, um zu dem Ziel zu kommen, so ist auch das ein U-Signal.

Wenn **Ψ**s Leben in einer neuen Realität beginnt, häufen sich natürlich die U-Signale. Späterhin, wenn **Ψ** etwas gelernt hat über die Realität, in der es sich bewegen muss, akkumulieren sich wieder die B-Signale und auf diese Art und Weise wächst die Bestimmtheit an.

Ein absinkender Bestimmtheitspegel hat für **Ψ** bestimmte Folgen; es strebt dann explorative Tätigkeiten an, die ihrerseits zu Lernprozessen führen und diese führen wiederum zu B-Signalen. Ein niedriger Pegel des "Bestimmtheitskessels" führt also zu Tätigkeiten der *spezifischen Exploration* (Berlyne, 1974). Spezifische Exploration kann Verschiedenes bedeuten: die Beobachtung des unklaren Bereichs oder auch die spielerische Erkundung.

Ein weiteres wichtiges informationelles Bedürfnis ist das Bedürfnis nach Kompetenz. Dieses wird befriedigt durch Effizienzsignale (E-Signale); der "Kompetenzkessel" wird entleert durch Ineffizienzsignale (IE-Signale). Wichtige E-Signale sind alle Bedürfnisbefriedigungen. Die Befriedigung des Hungers bedeutet also für **Ψ** nicht nur das Verschwinden eines Energiebedarfs, sondern ist zugleich ein E-Signal, füllt also den "Kompetenzkessel" auf. Zugleich ist jeder Zustand, in dem ein Bedürfnis unbefriedigt bleibt, ein IE-Signal, entleert also den "Kompetenzkessel" ein wenig. Und so wird ein anhaltender Bedürfniszustand nicht nur dazu führen, dass eben ein Bedürfnis immer stärker wird; vielmehr wird der "Kompetenzkessel" von **Ψ** auf diese Art und Weise mehr und mehr entleert. Das Ausmaß aber an Kompetenz (indiziert durch den Stand des Kompetenzpegels) beeinflusst das Verhalten von **Ψ**. Bei niedriger Kompetenz wird **Ψ** sich vorsichtiger verhalten, zögern, ehe es etwas tut und länger planen, da es einfach kein Zutrauen in seine eigene Handlungsfähigkeit hat. Auch bei der Kompetenzregelung spielt die Spezifität des Bedürfnisses, welches befriedigt wird oder bestehen bleibt, für die Wirkung keine Rolle. Allein die Tatsache, dass ein Bedürfnis bestehen bleibt, gilt für die "Kompetenzmessanlage" von **Ψ** als Signal dafür, dass offenbar seine Fähigkeiten nicht hinreichen, um die Bedürfnisse zu befriedigen.

Weitere wichtige E- bzw. IE-Signale sind Ereignisse, in denen es **Ψ** gelingt, etwas zu tun, etwas zu erreichen oder zu verändern oder in denen dies nicht gelingt. Die pure Effektivität einer Aktion (z.B. also die Zerstörung einer Telefonzelle) ist also ein E-Signal. Wenn aber derartiges nicht gelingt, so ist dieses Ereignis ein IE-Signal (und wird die entsprechend gerichteten Aktivitäten verstärken, da das Bedürfnis nach Kompetenz ansteigt).

Die Bedürfnisse nach Kompetenz und Bestimmtheit führen letztlich zu einer Erhöhung der Kontrolle von **Ψ** über seine Umwelt. **Ψ**s Wissen und Handlungsmöglichkeiten nehmen zu. Einen wichtigen Bereich haben wir aber ausklammert: Die soziale Umwelt. **Ψ** lebt alleine in seiner Welt und benötigt daher keine spezifischen Bedürfnisse für diesen Bereich. Auf diesen Aspekt werden wir in einem anderen Artikel noch ausführlich eingehen. An dieser Stelle nur

soviel: ein drittes informationelles Bedürfnis von **Ψ** ist das Affiliationsbedürfnis; das Bedürfnis nach sozialen Kontakten. Wenn dieses Bedürfnis aktiv ist, versucht **Ψ** "Legitimitätssignale" (L-Signale) zu bekommen. Signale der Legitimität (Boulding, 1973, S. 196) sind Signale, die dem Individuum signalisieren, dass es "ok" ist. Boulding nennt diese Signale daher auch "ok - Signale". Legitimitätssignale indizieren, dass ein Individuum sich im Einklang mit den Gruppennormen befindet. Menschen wird dies gewöhnlich gar nicht bewusst; das Individuum hat einfach nur ein Bedürfnis nach L-Signalen. L-Signale bei uns Menschen sind z.B. Lächeln oder Streicheln.

L-Signale können aber auch gelernt werden. So werden z.B. bestimmte Bekleidungsarten, Frisurformen oder bestimmte Formen des Verhaltens für die Mitglieder einer Gruppe zu L-Signalen; der Punk "fühlt sich gut", wenn er andere mit einem Irokesenhaarschnitt sieht. Das Bedürfnis nach L-Signalen ist eine Voraussetzung für die Sozialisierung der **Ψ**s. Wenn L-Signale nur dadurch zu erhalten sind, dass man die Bedürfnisse andere **Ψ**s befriedigt, dann erzeugt das Affiliationsbedürfnis altruistisches Verhalten. (Zum Bindungsbedürfnis siehe im Einzelnen Bischof, 1985 oder Bowlby, 1969).

## 2.2 Das Gedächtnis von Ψ

Mit der Aktivität von Motivatoren ist nun noch nicht erklärt, wie die Motivatoren Verhalten in Gang setzen und auf ein bestimmtes Ziel ausrichten, also eine bestimmte Form des "Strebens" erzeugen, wie Aristoteles sich ausgedrückt hätte. Ein wichtiges Instrument für die Bedürfnisbefriedigung ist natürlich das Gedächtnis, denn in ihm werden z.B. erfolgreiche Formen des "Strebens" aufbewahrt und können bei entsprechender Notwendigkeit wieder abgerufen werden. In diesem Abschnitt wollen wir auf den Aufbau des Gedächtnisses von **Ψ** eingehen.

Auf eine wichtige Gedächtniseinheit von **Ψ** haben wir in dem voraus stehenden Abschnitt schon hingewiesen, nämlich auf die Verknüpfung der Motivatoren mit sensorischen Schemata, die das Wissen um anzustrebende oder zu vermeidende Situationen oder Plätze darstellen. Das Gedächtnis von **Ψ** besteht aus "Schemata". Wir beschreiben nun zunächst, wie Schemata beschaffen sind und sodann, wie sich das Gedächtnis bei **Ψ** verändert, wie es wächst und – teilweise – wieder verfällt. Aufgebaut ist das Gedächtnis aus Knoten und Relationen, die zusammen größere Einheiten (z.B. Schemata) bilden.

### 2.2.1 Sensorische Schemata

Abbildung 8 zeigt, wie ein sensorisches Schema im Gedächtnis von **Ψ** aussieht. Es ist – zur Abwechslung von Kohlbeeten, Tannen und Pfützen – die Gedächtnisabbildung eines Gesichts. Das Schema besteht aus einer Hierarchie von verketteten Knotenreihen. Wir nennen die Knoten einer Reihe "Interknoten" oder "Interneuronen" (denn man kann sich die "Knoten", aus denen Schemata bestehen, als Neuronen vorstellen). Die Interknoten einer Kette

verweisen auf Subknoten (sub-Verbindung), die wiederum die Anfangsknoten von Interneuronen-Ketten sein können oder aber elementare Musterdetektoren. Die Subknoten ihrerseits verweisen zurück auf die Interneuronen (sur-Verbindung); die Verknüpfung zwischen Interneuronen und Subneuronen ist also doppelseitig (in Abbildung 8 haben wir nur die Verknüpfungen in der "sur-Richtung" durch Pfeile symbolisiert). Auch die Verknüpfung zwischen den Interneuronen ist wechselseitig ("por" = vorwärts und "ret" = rückwärts); es handelt sich also bei den Interneuron-Ketten um eine doppelt verknüpfte Reihe von Neuronen.

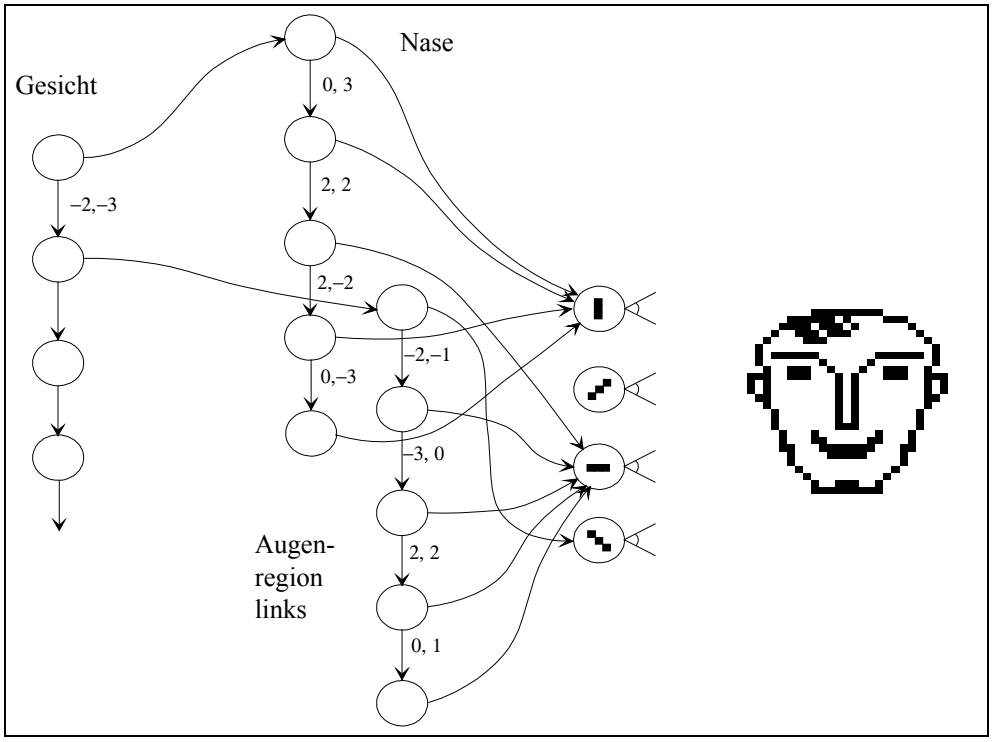


**Abbildung 8:** Ein sensorisches Schema.

Auf der untersten Ebene (in der Abbildung 8 rechts in der Hierarchie) findet man elementare Detektoren; wir haben in unserem Beispiel vier solcher Detektoren angenommen, nämlich ein kleines senkrechtes, ein waagerechtes Liniensegment und zwei Diagonalsegmente in den beiden 45° Orientierungen. Ein sensorisches Schema verknüpft solche Segmente zu größeren räumlichen Einheiten. Für das Gesicht haben wir zwei solcher Teilschemata angegeben, nämlich ein Schema für die linke Augenregion und ein Schema für die Nase. Man sieht, dass die Verknüpfungen zwischen den Interneuronen durch Koordinaten gekennzeichnet sind. Das Nasenschema beginnt mit einem senkrechten Segment (1. Interknoten), dann folgt um 0 Einheiten auf der x-Achse und um 3 Einheiten auf der y-Achse versetzt ein weiteres senkrechtes Liniensegment, dann um 2 Einheiten nach rechts (x) und um zwei Einheiten nach unten (y) versetzt ein waagerechtes Element, usw. (Die Entfernungen zählen jeweils von der Mitte der Segmente aus.) Das ganze Gesicht ist eine Folge solcher Schemata, von denen wir aber nur zwei angegeben haben.

Wieso ist eine solche Struktur ein sensorisches Schema? Weil sie in dem Wahrnehmungssystem von Ψ zur Identifizierung und Kategorisierung verwendet wird. Das sieht folgendermaßen aus: Nehmen wir einmal an, der Detektor ▚ würde aktiv. Dann könnte ein Wahrnehmungsprozess damit starten, dass sich das Wahrnehmungssystem von Ψ feststellt: "ein ▚ kommt in dem Schema für das linke Auge vor! Also könnte das Ganze das "linke" Auge von dem und dem Gesicht sein! Wenn das aber der Fall wäre, so müsste sich eine Einheit nach oben und zwei nach links versetzt ein ▬ finden. Und daneben noch eins! Dies muss geprüft werden."

Und wenn dann die Hypothese "linkes Auge" zutrifft, müsste sich da und da die Nase befinden. — So geschieht durch einen Wechsel von Hypothesenprüfung und Hypothesengenerierung die Wahrnehmung bei Ψ. Man muss sagen: so geschieht sie *im Prinzip*; es ist im Detail komplizierter. Der Wahrnehmungsprozess sucht nach Konturen und "gestoppten" (irgendwo endenden) Linien, bildet die Hypothesen über die Zugehörigkeit von Subschemata. Der Wahrnehmungsprozess kann Figuren und Objekte identifizieren, wenn sie sich Überschneiden oder wenn sie im Raum gedreht sind und unterschiedlich groß erscheinen. Aber darauf wollen wir hier nicht eingehen (siehe hierzu Dörner, 1999).

Das Konzept der Verknüpfung einer Interneuronenreihe mit Subneuronen, die jeweils Detektoren einfacherer Schemata sind, ist sehr mächtig. Man kann auf diese Weise beliebige Dinge als sensorische Schemata darstellen. Statt nur zwei Koordinaten für die Fläche zu verwenden, kann man auch drei oder vier Koordinaten verwenden, um auf diese Art und Weise die räumliche Tiefe und die Zeit in sensorischen Schemata mit abzubilden. Auf diese Weise können dreidimensionale Objekte abgebildet werden und auch Objekte, die sich in der Zeit erstrecken ("Geschehnisse").

Die Verwendung von Zahlen für die relativen Entfernungsangaben zwischen den einzelnen Interneuronen ist ein Bruch des Konzeptes, allein nur mit "subsymbolischen" Elementen zu arbeiten, also z.B. nur mit Neuronen und ihren Verbindungen. Die Zahlen in der Abbildung 8 sollen aber nur Kürzel für motorische Aktivierungen sein. Die Koordinatenangabe [0,3] zwischen den ersten beiden Interneuronen des Nasenschemas in Abbildung 8 stellt also eine Befehlssequenz für die Betätigung der Augenmuskeln dar: "ziehe die Stelle des schärfsten Sehens um drei Einheiten nach oben!"

Wofür werden sensorische Schemata gebraucht? Einmal um Sachverhalte, Dinge, Situationen zu identifizieren, sie wahrzunehmen, zu wissen, dass sie in der augenblicklichen Situation vorhanden sind. Ausserdem kann Ψ solche Schemata verwenden, um sich Objekte oder Ereignisse "vorzustellen", um mit ihnen "geistig" zu arbeiten, über Dinge nachzudenken. Wir gehen später noch auf dieses Thema etwas genauer ein.

### 2.2.2 Verhaltensprogramme

Abbildung 9 zeigt ein motorisches Schema. Man sollte es vielleicht besser ein Verhaltensprogramm nennen. Die Grundform eines Verhaltensprogrammes ist eine Sequenz 'Sensor - Aktor

- Sensor - Aktor - Sensor ... '. D.h., dass ein Verhaltensprogramm charakteristischerweise aus "Tripletts" besteht (wie Klix, 1992, S. 65 sie nennt). Das erste Interneuron eines Verhaltensprogrammes zeigt auf ein sensorisches Schema; das ist der Sensor. Das zweite Interneuron zeigt auf einen Aktor, d.h. auf ein Neuron, welches eine mehr oder minder elementare Muskelbewegung auslöst. Das dritte Neuron zeigt wiederum auf ein sensorisches Schema. Ein solches Triplett nennen wir *Aktionsschema*. Ein Aktionsschema ist die **Ψ**-spezifische, neuronale Form der Gedächtnisabbildung einer "Produktion" (siehe z.B. Anderson, 1983); die Aktivierung eines Aktionsschemas kann bei **Ψ** aber sowohl die Aussen-, als auch die Innenwelt verändern.

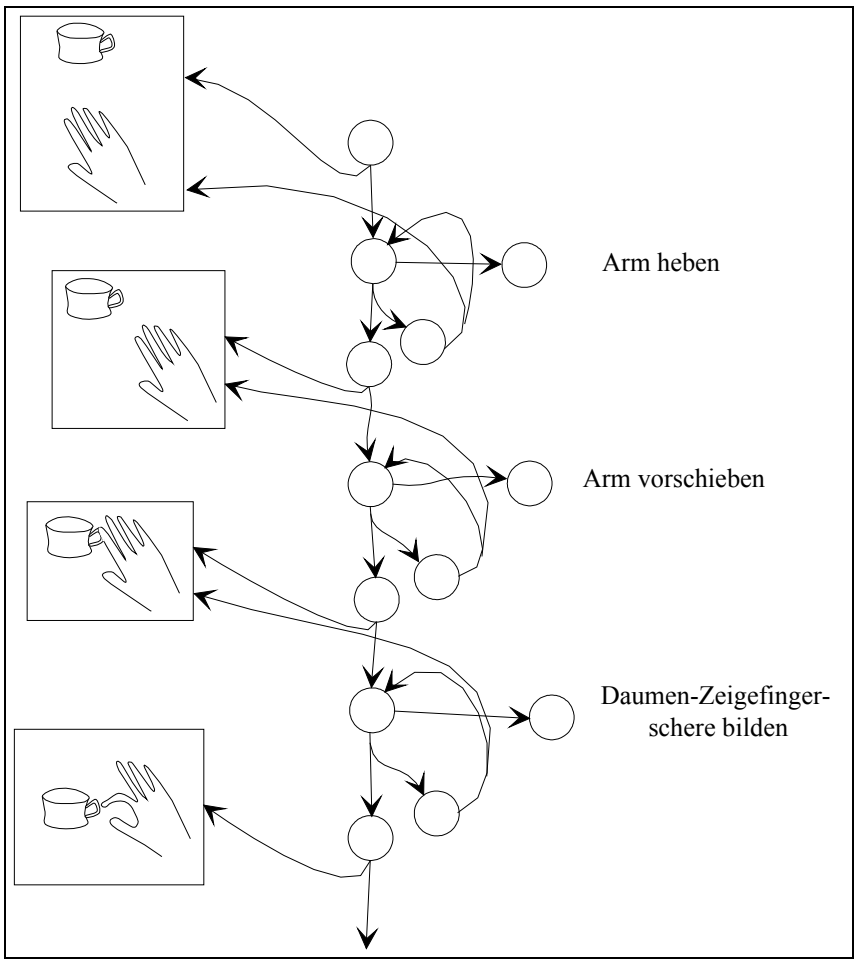


**Abbildung 9:** Ein motorisches Programm.

Bei der Handlungsregulation von **Ψ** dient der erste Sensor zur Überprüfung, ob die Bedingung für die Durchführung einer Aktion gegeben ist. Dies ist der Fall, wenn das entsprechende 'Ding', welches dem sensorischen Schema entspricht, in der Umwelt wahrgenommen werden kann. Verbal: *"Teetasse vorhanden?"* Wenn dies der Fall ist, kann der nachfolgende Aktor gefeuert werden. Verbal: *"Führe Hand in Richtung auf Teetasse!"* Danach wiederum wird geprüft, ob das der Fall ist, worauf das dritte Interneuron eines Aktionsschemas zeigt. Verbal: *"Spüre ich den Henkel der Teetasse?"*

Das dritte Interneuron eines Aktionsschemas zeigt auf ein sensorisches Schema, welches man auch als Erwartungsschema bezeichnen kann. Es kennzeichnet den Output, den Effekt der Aktion. Denkbar ist es, dass ein Aktionsschema mehrere Output-Schemata enthält. Auf diese Weise kann sich ein Aktionsschema verzweigen. Ist das eine der Fall, so wird das eine gemacht, kommt aber das andere heraus, so fährt man mit dem anderen fort. Ist also der Henkel der Teetasse fühlbar, so wird die Tasse erhoben und zum Munde geführt. Ist der Henkel der Tasse aber noch nicht fühlbar, so findet eine Verzweigung nach rückwärts statt: Die Bewegung in Richtung auf die Teetasse wird fortgesetzt.

Die Aktoren von Verhaltensprogrammen können ihrerseits mehr oder minder komplizierte Verhaltensprogramme sein, genauso wie die sensorischen Schemata, wie Sensoren sich nicht auf einfache Detektoren beziehen brauchen, sondern Subsensoren haben, die ihrerseits komplizierte sensorische Schemata darstellen.

Sensorische und motorische Schemata sind als Gedächtnisstrukturen einander recht ähnlich. Im Kern bestehen sie aus einer Interknotenreihe; diese Interknoten sind wiederum mit motorischen oder sensorischen Subschemata verbunden.

Sowohl sensorische Schemata als auch motorische können *Abstraktheit* aufweisen. Abstraktheit kann in sensorischen Schemata in der Weise vorhanden sein, dass die Interneuronen auf mehrere oder auf gar keine Subneuronen verweisen. Es kann das eine, oder das andere oder das dritte der Fall sein. Oder es kann *alles* der Fall sein, wenn ein Interneuron auf gar kein Subneuron zeigt.

Wie entstehen sensorische Schemata? Wie werden Verhaltensprogramme aufgebaut? Auf diese Fragen gehen wir im nächsten Abschnitt ein, in dem wir uns mit den verschiedenen Instanzen des Gedächtnisses von **Ψ** befassen.

### 2.2.3 Gedächtnisinstanzen

**Ψ** kennt keine Unterscheidung zwischen verschiedenen Gedächtnisinstanzen, zwischen Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis, episodischem Gedächtnis, Arbeitsgedächtnis, Ultrakurzzeitgedächtnis oder wie sonst immer die verschiedenen Gedächtnisarten heissen mögen, die man in der Psychologie gewöhnlich unterscheidet. **Ψ** hat nur ein Gedächtnis; es spinnt kontinuierlich eine Art von Gedächtnisfaden, nämlich das *Protokoll*. Es gibt jeweils ein aktuelles Protokollneuron und dieses Protokollneuron verweist “ret” auf das vorherige aktuelle Protokollneuron, dieses verweist rückwärts auf das Protokollneuron, welches dem vorherigen aktuellen Protokollneuron vorausging, usw. Zu bestimmten Gelegenheiten, beispielsweise immer dann, wenn die Konstellation in der Wahrnehmung oder in der Motorik sich ändert, gibt es einen *Protokollimpuls*. Dieser Protokollimpuls führt zu einer Verbindung der jeweils aktuell wahrgenommene Situation oder auch des aktuellen Verhaltensprogramms mit dem aktuellen Protokollneuron, welches wiederum mit seinem Vorgänger verbunden wird.

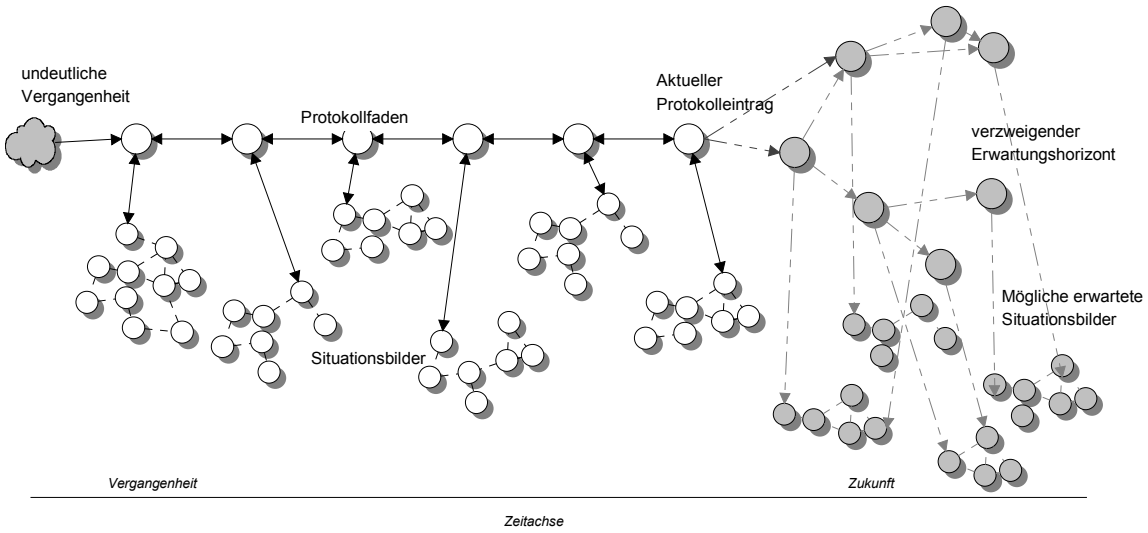


**Abbildung 10:** Gedächtnisprotokoll.

Auf diese Art und Weise werden Protokolle des jeweiligen Verhaltens und der jeweiligen Geschehnisse erstellt. Verbal: "Erst wurde das Brötchen gesehen, dann nach ihm gegriffen, es wurde aufgeschnitten, mit Butter und nachträglich mit Marmelade bestrichen. Dann wurde das Brötchen abgelegt und ein großer Schluck auf der Kaffeetasse genommen ...". So kann ein solches Protokoll verbalisiert aussehen; es besteht aus sensorischen und motorischen Elementen. Das aktuelle Geschehen und das eigene Verhalten spinnen diesen Protokollfaden ständig weiter. Auf diese Weise entsteht ein Gedächtnisabbild einer langen Episode.

Die Struktur des Protokollfadens gleicht jener Interneuronenstruktur, die wir bei den sensorischen und den motorischen Programmen bereits kennengelernt haben. Es gibt eine zentrale Kette von Interneuronen; diese Interneuronen verweisen "sub" jeweils auf Sensoren oder Aktoren und die Aktoren und Sensoren verweisen "sur" auf die jeweiligen Protokollelemente. Ein Protokoll enthält also Angaben darüber, was in welcher Reihenfolge und unter welchen Umständen getan worden ist bzw. was in welcher Reihenfolge und unter bestimmten Bedingungen jeweils wahrgenommen worden ist. Das heisst also, dass das Protokoll im Wechsel sensorische bzw. sensumotorische bzw. motorische Programme enthält.

Nun nehmen wir an, dass sowohl die Protokollkette als auch ihre Verweise auf sensorische oder motorische Subelemente in hohem Maße verfallen. Diese Verknüpfungen verschwinden wieder und zwar bei **Ψ** ziemlich schnell. Das gesamte Protokoll des Verhaltens löst sich also nach kurzer Zeit fast vollständig wieder auf. Aber das geschieht nicht immer und nicht beständig! Wenn beispielsweise ein neu eingetretenes Ereignis mit der Verminderung eines Bedürfnisses verbunden ist, oder aber mit einer Bedürfnisentstehung, dann werden die unmittelbar vorausgehenden Protokollelemente und ihre Subverweise *verstärkt*. Auf diese Weise entstehen in der Protokollkette "Inseln", deren Elemente besonders starke Verbindungen untereinander aufweisen. Aus diesen Inseln werden neue motorische und sensorische Schemata.

Wir legen dabei für **Ψ** ausserdem noch fest, dass die so gestifteten Verbindungen bei jedem neuen Gebrauch weiter verstärkt werden. Wenn also ein einmal gestiftetes sensorisches oder motorisches Schema erneut zum Zwecke der Wahrnehmung oder der Aktion gebraucht wird, so wird es weiter verstärkt. Ansonsten aber zerfällt es wieder.

Für den Verfall soll gelten, dass eine Verbindung um so schneller zerfällt, je schwächer sie ist und um so langsamer, je stärker sie ist. Eine Verstärkung (bei Gebrauch der Verbindung) soll um so stärker wirken, je stärker die Verbindung schon ist und um so schwächer, je schwächer die Verbindung ist. Auf diese Weise werden häufig gebrauchte Verbindungen praktisch vergessensresistent, wohingegen selten gebrauchte Verbindungen schnell wieder verfallen.

Diese Einführung des *Vergessens* in die Neuronennetze von **Ψ** führt dazu, dass diese nicht konstant bleiben, sondern ständig um- und neu gebaut werden. Das hat einige Vorteile. Selten gebrauchte sensorische und motorische Schemata verschwinden wieder aus den Neuronennetzen und geben ihre Neuronen zu neuem Gebrauch frei. Speicherplatz wird auf diese Weise gespart. Ausserdem führt das Vergessen dazu, dass **Ψ** ständig wieder explorativ tätig werden muss. Wenn es in einen Realitätsbereich gelangt, in dem es lange nicht gewesen ist, so weiss es von diesem Realitätsteil nicht mehr viel, weil einfach viel vergessen worden ist. Auf diese Weise ist **Ψ** gezwungen, explorativ tätig zu werden und kann sich auf diese Weise Erfahrungsbereiche immer neu und in anderer Weise erschließen.

Ein dritter Vorteil des Vergessens ist, dass auf diese Weise Gedächtnisinhalte *abstrakt* werden. Sensorische und motorische Schemata werden gewissermaßen löcherig von “Mottenfraß” des Vergessens und bekommen Hohlstellen. Das hat zwar den Nachteil, dass **Ψ** Dinge miteinander verwechselt, die es nicht miteinander verwechseln sollte, andererseits aber den Vorteil, dass **Ψ** ungleiche Dinge als äquivalent behandelt, weil sie ähnlich aussehen.

Mathematisch kann Verstärkung und Zerfall durch Potenz- und Wurzelfunktionen beschrieben werden. Sei s die Stärke einer Verbindung (0 <= s < 1) und sei V eine Verstärkungs- und Z eine Zerfallskonstante. Wenn gilt, dass s bei einer Verstärkung in folgender Weise verändert wird:

$$s := \left(\sqrt{s + V}\right)^2$$

so wächst s um so mehr, je größer s schon ist. Es existiere z.B. eine Verbindung zwischen zwei Neuronen mit der Stärke 0.05. Wenn nun V einen Wert von 0.02 hat, dann erhöht sich bei einer Verstärkung die Stärke s der Verbindung von 0.05 auf 0.059. Hat aber s einen Wert von 0.15, so erbringt eine Verstärkung einen Zuwachs von 0.0158 Einheiten; die Stärke der Verbindung steigt auf 0.1658.

Für den Zerfall von Verbindungen gilt folgendes: Hat eine Verbindung z.B. die Stärke 0.9 und beträgt die Zerfallskonstante Z = 0.02, so zerfällt die Verbindung in einer Zeiteinheit um 0.0112 Einheiten; ihr neuer Wert beträgt 0.8888. Hat aber die Verbindung nur noch die Stärke 0.2, dann zerfällt ihre Stärke pro Zeiteinheit um 0.0585 Einheiten; ihr neuer Wert beträgt 0.1414. Das ergibt sich aus der Verfallsformel:

$$s := \left(\sqrt{s^2 - Z}\right)$$

Ausser durch die Verstärkung bei einer Bedürfnisentstehung oder einer Bedürfnisbefriedigung nehmen wir noch an, dass jeder Gebrauch einer Verbindung die Stärke dieser Verbindung in einem gewissen Umfang erhöht. Häu-

fig gebrauchte Verbindungen werden also stärker und damit vergessensresistenter als wenig gebrauchte Verbindungen. (Unter welchen Umständen Verbindungen "gebraucht" werden, werden wir gleich sehen.)

Wenn es Kurzzeitgedächtnis, episodisches Gedächtnis und konzeptuelles Gedächtnis usw. im Gedächtnis nicht als eigenständige Strukturen gibt, wie ist dann bei **Ψ** deren Funktion realisiert? Das Kurzzeitgedächtnis ist der "Kopf" des Protokolls. Das, was zuletzt gespeichert worden ist, verfügt über relativ starke Verbindungen, ganz einfach weil es dem Vergessen noch nicht in starkem Maße ausgesetzt war. Das aber, was aufgrund von Wiederaufrufen, aufgrund von Bedürfnisbefriedigungen oder Bedürfnisentstehungen relativ stark verstärkt worden ist, bildet das episodische Gedächtnis; dies besteht gewissermaßen aus Inseln im 'Meer des Vergessens'. Aber auch diese "Inseln" bekommen mehr und mehr Lücken, werden auf diese Art und Weise hohler und damit abstrakter und so ergibt sich aus dem episodischen Gedächtnis schließlich ein konzeptuelles Gedächtnis. Das konzeptuelle Gedächtnis enthält Schemata hoher Abstraktheit; Schemata also, bei denen die Subverweise durch Vergessen verlorengegangen sind, die also viele Hohlstellen aufweisen, in die Vieles hineinpasst.

## 2.3 Handlungsregulation

Das Gedächtnis wird zum Zwecke der Organisation des Verhaltens aufgebaut und verwendet. Abbildung 11 zeigt, in welcher Art und Weise bei **Ψ** Handlungen organisiert werden. Es gibt jeweils eine handlungsleitende *Absicht*. Diese besteht aus dem jeweils ausgewählten Motiv und den Informationen, die mit dem aktiven Motivator im Gedächtnisnetzwerk verknüpft sind. Dies sind vor allem Informationen über die anzustrebenden Ziele. Hinzu kommt das Wissen über die anwendbaren Operatoren oder Aktionsschemata und auch das (im Protokoll abrufbare Wissen) über die vergangenen, vergeblichen Ansätze zur Problemlösung. Hinzu kommen Pläne, die **Ψ** durch die Anwendung bestimmter heuristischer Verfahren erzeugt. Eine Absicht ist also ein Bündel von zusammenhängenden Informationen (die alle aus neuronalen Netzen bestehen), welches sich ständig verändert. (Eine Absicht als ein solches Informationsbündel stellt das Arbeitsgedächtnis von **Ψ** dar.)

Im Klartext: Wenn ich erfahren habe, dass ich bei einer Bratwurstbude auf dem Coburger Marktplatz meinen Hunger stillen kann, so werde ich in Zukunft, wenn ich Hunger habe, den Bratwurststand auf dem Coburger Marktplatz anstreben. Der Hunger (und Mangel an Energie) ist der Bedarfszustand. Der Anblick der Bratwurstbude ist der Zustand der Realität, der in ein bestimmtes sensorisches Schema passt, welches seinerseits mit dem Bedarfsindikator für "Energiemangel" verbunden ist. Und wenn nun der Bedarfsindikator wieder aktiv wird, so auch das Schema für den Coburger Bratwurststand; dieser ist eine von vielen Situationen, die eine konsummatorische Endhandlung, also die zu einer Hungerbefriedigung führt, ermöglicht. Wenn man Hunger hat, so sollte man (unter anderem) den Coburger Bratwurststand anvisieren.

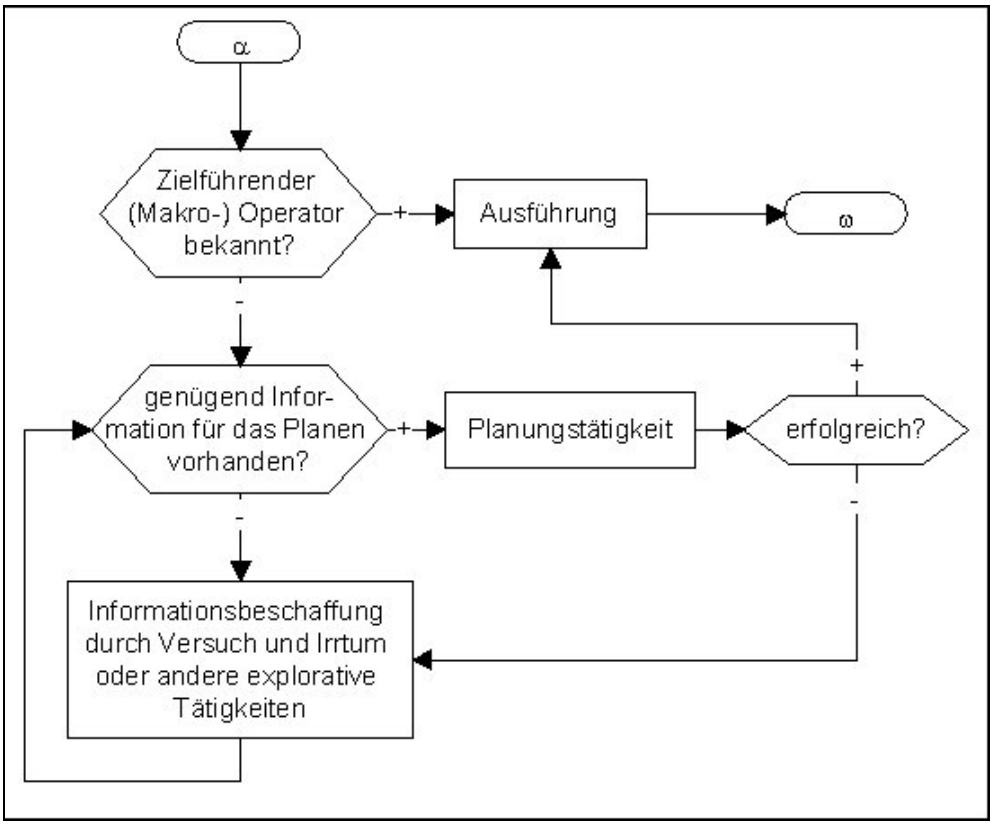


**Abbildung 11:** Die Rasmussen-Leiter (nach Rasmussen, 1986).

Was heisst das nun: "anvisieren"? Für **Ψ** heisst das, dass eine Reihe von inneren Prozessen stattfinden, die dann schließlich zu dem Entschluss führen, etwas zu tun oder auch nicht. Wir schildern diese "inneren Prozesse" nun kurz. — Man könnte diese inneren Prozesse auch das "Denken" von **Ψ** nennen. Anderson (1993, z.B. S. 1) und mit ihm viele andere Vertreter der Kognitionspsychologie zögern nicht, solche Versuche eines Systems, durch eine gezielte Auswahl von Operatoren sich einem Ziel anzunähern, als "Denken" zu bezeichnen; wir meinen allerdings, dass der Kern dessen, was man gewöhnlich bei Menschen "Denken" nennt, damit noch nicht erfasst ist, da der Aspekt der "Selbstprogrammierung", der Betrachtung der eigenen Denkstrategien und deren Änderung völlig fehlt. Wir wollen aber darauf hier nicht weiter eingehen.

Abbildung 11 zeigt, welche Arten von inneren Prozessen stattfinden. Zunächst einmal versucht **Ψ** in seinem Gedächtnis einen Weg von der augenblicklichen Situation zu einem der angestrebten Ziele aufzufinden. Ist ein solcher Weg im Gedächtnis vorhanden, so wird er **Ψ** mit einiger Wahrscheinlichkeit "einfallen".

Die entsprechende Gedächtnissuche hat eine sehr einfache Form. **Ψ** ruft diejenigen Abbilder früherer Situationen auf, die der augenblicklich vorhandenen ähnlich sind und sucht in dem Protokoll nach vorwärts, ob es so zu einer Situation kommen kann, die einer der Zielsituationen ähnlich ist. Eine solche Suche kann aus vielen verschiedenen Gründen scheitern; einmal deshalb, weil eine entsprechende Kette von Aktionsschemata im Gedächtnis nicht vorhanden

ist, zum anderen, weil eine solche Kette zwar vorhanden *war*, aber vergessen worden ist und zum dritten, weil **Ψ** die Suche zu früh beendet, weil es hinsichtlich des schließlichen Erfolgs der Suche mit zunehmender Anzahl der Misserfolge immer "mutloser" wird ("Kompetenzpegel").

Wird kein Automatismus gefunden, so folgt als nächstes das Planen. Planen besteht darin, dass **Ψ** versucht, aus Wegteilstücken (Operatoren und Operatorketten, Makrooperatoren) einen neuen Weg zu einem der angestrebten Ziele zu synthetisieren. Während also die Suche nach einem Automatismus nach einem vollständigen Weg fahndet, besteht das Planen aus dem Versuch, aus einzelnen Gedächtniselementen neue Wege zu synthetisieren. Im Augenblick besteht das entsprechende Findeverfahren ("Heurismus") von **Ψ** aus einer Prozedur zur Vorwärtsverkettung von Aktionsschemata. Diese Prozedur besteht darin, dass ein auf die gegenwärtige Situation anwendbarer Operator ausgewählt wird, ermittelt wird, was sich aus seiner Anwendung ergeben würde, das Ergebnis als Ausgangspunkt eines weiteren Schrittes dient, und der gesamte Prozess solange fortgesetzt wird, bis entweder eine Situation gefunden wird, die einer Zielsituation entspricht (oder ihr ähnlich ist) oder bis **Ψ** einfach nichts mehr "einfällt" (was bei einer hohen Vergessensrate ziemlich schnell der Fall zu sein pflegt). — Wenn eine Kette nicht mehr fortgesetzt werden kann, versucht **Ψ** von einem früheren Element der Kette aus zu "verzweigen", also auf eine Situation noch andere Operatoren anzuwenden. Längeres erfolgloses Planen führt zur ständigen Kompetenzminderung und irgendwann dann einmal zum Abbruch. — Beim Planen kann sich **Ψ** durchaus täuschen, denn das Planen findet ja "intern" statt, mit den meist nur noch unvollständig vorhandenen Schemata. Aber gerade daraus ergeben sich auch "kreative" Lösungen für Probleme.

Bleibt das Planen erfolglos, so ist die "ultima ratio" von **Ψ** ein Verhalten nach dem Versuch-Irrtums-Prinzip. **Ψ** probiert irgendwelche Handlungen aus; bevorzugt aber solche, die es in dieser Situation noch nicht verwendet hat, deren Ausgang also unklar ist.

Wenn **Ψ** "laut denkt" könnte, so würde eine verhaltensvorbereitende innere Tätigkeit etwa folgendermaßen aussehen: *Ich will also zu der Situation* **Haselwald** *oder zu* **Hühnengrab** *oder* **Steppe08***, damit ich meinen Durst befriedigen kann! Jetzt bin ich in der Situation* **Norddünen***! Fällt mir dazu etwas ein? Ach ja, die Verhaltenssequenz* **N-NO-SW** *müsste von* **Norddünen** *nach* **Haselwald** *führen. Also machen wir das mal! — Oh! Das geht nicht.* **N** *hat nicht den Erfolg, den ich erwartet habe! — Was kann man denn da sonst noch machen? Wenn ich erst* **O** *auf* **Norddünen** *anwende, dann müsste sich* **Steppe07** *ergeben. Und wenn ich auf* **Steppe07** *dann* **SW** *anwende? Nein, das bringt nichts! — Aber wenn ich* **S** *anwende?! Das bringt mich von* **Norddünen** *nach* **Südwald** *und von da aus kann ich mit* **W** *zu* **Hühnengrab** *gelangen! Machen wir das mal! —***S** *hat leider nicht den gewünschten Effekt! — Da müssen wir jetzt einfach herumprobieren! Machen wir mal* **NO***! Bringt nichts! Und* **W***? Das bringt mich zu der Situation* **Küste04***. Und von* **Küste04***? Gibt es da einen Weg zu* **Hühnengrab** *oder* **Haselwald** *oder zu* **Steppe08**? *..."*

(Das "ich" in diesem Protokoll sollte man nicht ernst nehmen; **Ψ** entwickelt zwar durch Lernprozesse durchaus eine eigene Individualität, kann sich aber nicht zum Objekt der eigenen Betrachtung machen, hat also kein "Ichbewusstsein.)

Alle Prozesse der Gedächtnissuche und der Planung basieren auf nur einem einzigen "neuronalen" Prozess, nämlich der "bedingten Assoziation". Die gezielte Abtastung der Struktur eines Netzwerks besteht bei **Ψ** aus bedingten Assoziationen. Abbildung 12 zeigt eine solche Abtastung an einem einfachen Beispiel. Man sieht hier unten auf der Abbildung 12 einige sensorische Schemata als Ketten von Interneuronen, die auf bestimmte Elemente "zeigen". (Diese Elemente sind wiederum Ketten von Neuronen; das aber haben wir der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.) Die sensorischen Schemata sind die inneren Abbilder von Situationen mit Tannen, Büschen, Sandhaufen, Felsen, Wasserlachen. Sei die Situation links unten die augenblicklich vorhandene Situation, die "Startsituation". Die mit "Ziel" gekennzeichnete Situation rechts ist das angestrebte Ziel, ein Platz, an dem es etwas zu trinken gibt.

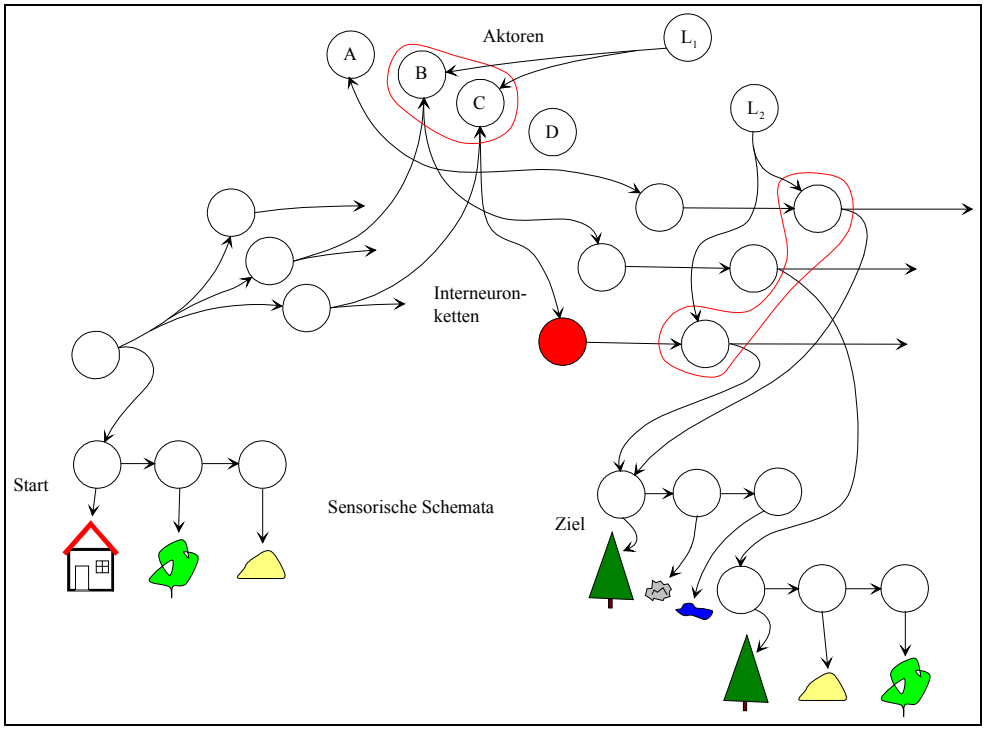


**Abbildung 12:** Die bedingte Assoziation.

Ein "Denkschritt" von **Ψ** zum Zwecke der Ermittlung anwendbarer und zielführender Operatoren besteht darin, dass **Ψ** vom "Start" zu den anwendbaren Aktoren übergeht. Dies geschieht dadurch, dass vom Start aus eine Aktivierung in das Netzwerk geschickt wird und alle *Aktoren*, die von dieser Aktivierungswelle "getroffen" werden, zu einer "Liste" vereint werden, die man rot umrandet in Abbildung 12 sieht. Ein solcher Übergang von einem sensorischen Schema zu Aktoren ist deshalb "bedingt", weil der Übergang eben nur zu den Aktoren erfolgt. (Formal: es erfolgt ein Übergang zu den Neuronen, die zugleich im Ausbreitungshof von

"Start" liegen und Elemente einer "Liste der Aktoren" sind; es findet eine Schnittbildung zweier Listen statt.)

Diese Listenbildung bedeutet, dass die Neuronen mit einem *Registerneuron* $L_1$ verknüpft werden. Als nächstes wird vom *Ziel* aus eine Aktivitätswelle ins Netzwerk geschickt und alle *Inter*neurone, die von dieser Welle getroffen werden, werden mit einem Registerneuron $L_2$ zu einer Liste verknüpft. Man sieht auch diese Liste rot umrandet in Abbildung 12. Und schließlich wird von $L_1$ und zugleich von $L_2$ aus eine Aktivierungswelle in das Netzwerk geschickt und der Überschneidungsbereich beider Aktivierungswellen "herausgeschnitten". (Dies kann durch die Ermittlung doppelt aktivierter Neuronen geschehen.) Ist der Überschneidungsbereich nicht leer, so gibt es eine zielführende Operation; im Beispielsfall ist dies C, welches über das rot markierte Interneuron mit dem Ziel verbunden ist.

Man kann zeigen, dass durch verschiedene Formen solcher bedingter Assoziationen in einem Neuronennetzwerk sehr komplizierte Formen der Informationsverarbeitung zustande kommen können (siehe hierzu bereits Dörner, 1974). Man kann komplexe Formen von Planungsprozessen als gesteuerte Folgen bedingter Assoziationen beschreiben, als Abfolgen von "Feldprozessen", wie wir sie in der gerade zitierten Arbeit genannt haben. Wir können aber an dieser Stelle nicht genau darauf eingehen. — Von zentraler Wichtigkeit allerdings ist eine bestimmte Form der Aneinanderreihung bedingter Assoziationen, nämlich der *Vergleich* zweier Schemata.

Der Vergleich wird z.B. benutzt, um zu ermitteln, ob ein Fortschritt in Richtung auf ein angestrebtes Ziel erfolgt. Planungsprozesse werden von **Ψ** abgebrochen, wenn nach einer bestimmten Zeit kein Fortschritt mehr feststellbar ist. Weiterhin spielt der Vergleich bei der Entscheidung, welcher von mehreren möglichen Handlungswegen beschritten werden soll, eine große Rolle. Generell verfährt **Ψ** so, dass diejenige Handlung ausgewählt wird, deren Endergebnis dem angestrebten Ziel am *ähnlichsten* ist. Im Hinblick auf die *emotionale* Modulierung der kognitiven Prozesse von **Ψ** sind die Vergleichsprozesse wichtig, weil sie "emotional" moduliert werden und daher unter bestimmten emotionalen Bedingungen anders ablaufen als gewöhnlich. Und auf diese emotionalen Modulationen der kognitiven Prozesse wollen wir im folgenden Abschnitt eingehen.

## 2.4 Emotionen

Ausser durch verschiedene Findeverfahren (Heurismen), die aufgrund des Wissens Wege zum Ziel suchen oder konstruieren, wird das Verhalten von **Ψ** durch die jeweilige (sich schnell verändernde) emotionale Lage gesteuert. In der Episode, die wir diesem Artikel voran stellten, erwähnten wir Emotionen. **Ψ** steht unter Druck und wird ärgerlich, weil ihm zielführende Aktionen nicht einfallen. — Beobachtet man das Verhalten von **Ψ**, so kann man viele andere Emotionen feststellen: mitunter ist es deutlich erleichtert, freut sich, wenn es ein bestimmtes

Ziel erreicht hat und fürchtet sich davor, auf einem Platz zu landen, wo es Schmerzen erleidet. Manchmal erschrickt es, ist überrascht, zeigt Furcht und Angst, fühlt sich hilflos, resigniert. Diese Emotionen zeigen sich in **Ψ**s Verhalten, manchmal ist **Ψ** zögerlich, "traut sich nicht", dann aber wieder stürmt es, hoch aktiviert und ohne nach rechts oder links zu schauen, auf ein Ziel zu, reagiert aggressiv auf Hindernisse und zerstört was ihm im Wege steht. Dann wieder "lässt es Dampf ab", entspannt sich, zeigt alle Anzeichen von Zufriedenheit. — Um die Emotionen deutlich sichtbarer zu machen, haben wir **Ψ** mit einem menschlichen Antlitz und der entsprechenden mimischen Muskulatur versehen. Und diese Muskulatur haben wir mit den Parametern der inneren Befindlichkeit von **Ψ** so verknüpft, wie man das auch für Menschen annehmen kann (Ekman & Friesen, 1976).

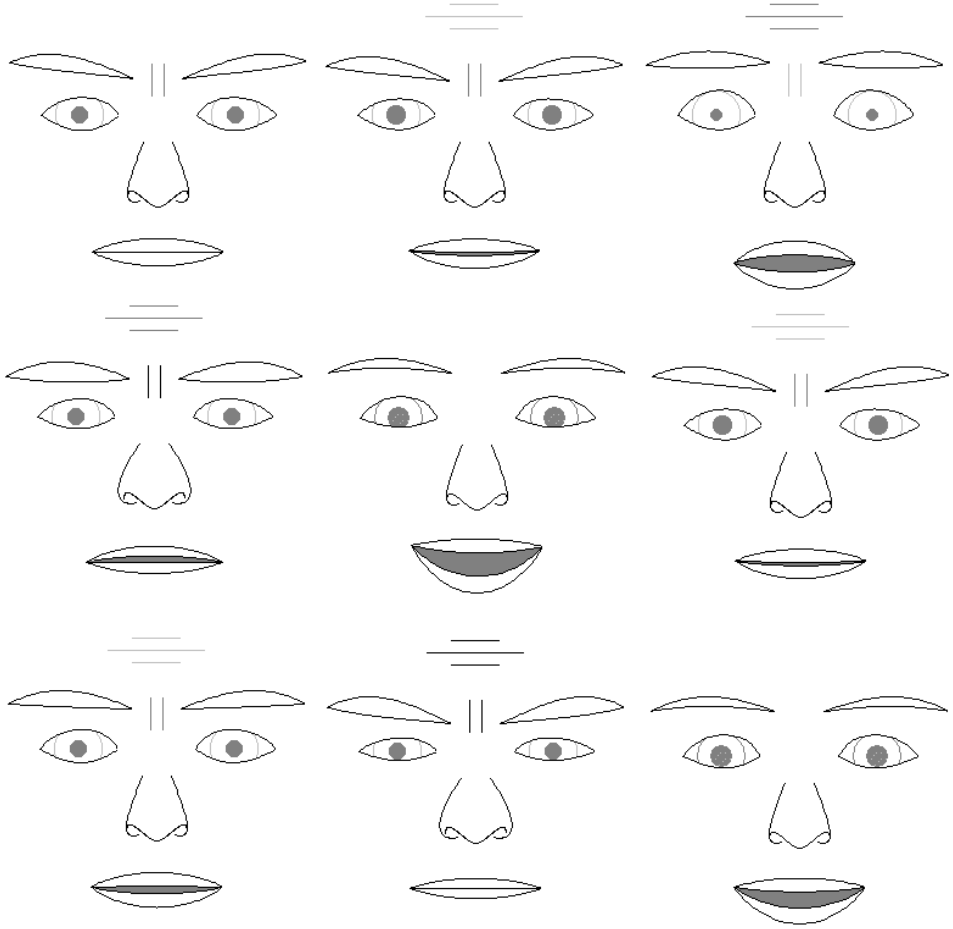

**Abbildung 13: Ψ**s Mimik.

Die Gesichtszüge von **Ψ** verändern sich also in Abhängigkeit von seiner Gemütslage. Abbildung 13 zeigt eine Sammlung verschiedener Ausdrucksweisen von **Ψ** in verschiedenen emotionalen Zuständen. Links oben sieht man z.B. Entschlossenheit bei hoher Aktivierung, rechts oben Erschrecken und Hilflosigkeit, in der Mitte links ärgerliche Überraschung, unten rechts die reine Freude, unten links Angst, unten in der Mitte ein schmerzvolles Gesicht. — Auf welche Weise hat **Ψ** Angst, Furcht, Ärger, Freude? Darauf wollen wir nun eingehen.

Abbildung 14 zeigt die zentralen Mechanismen der Gefühlsregulation von **Ψ**.

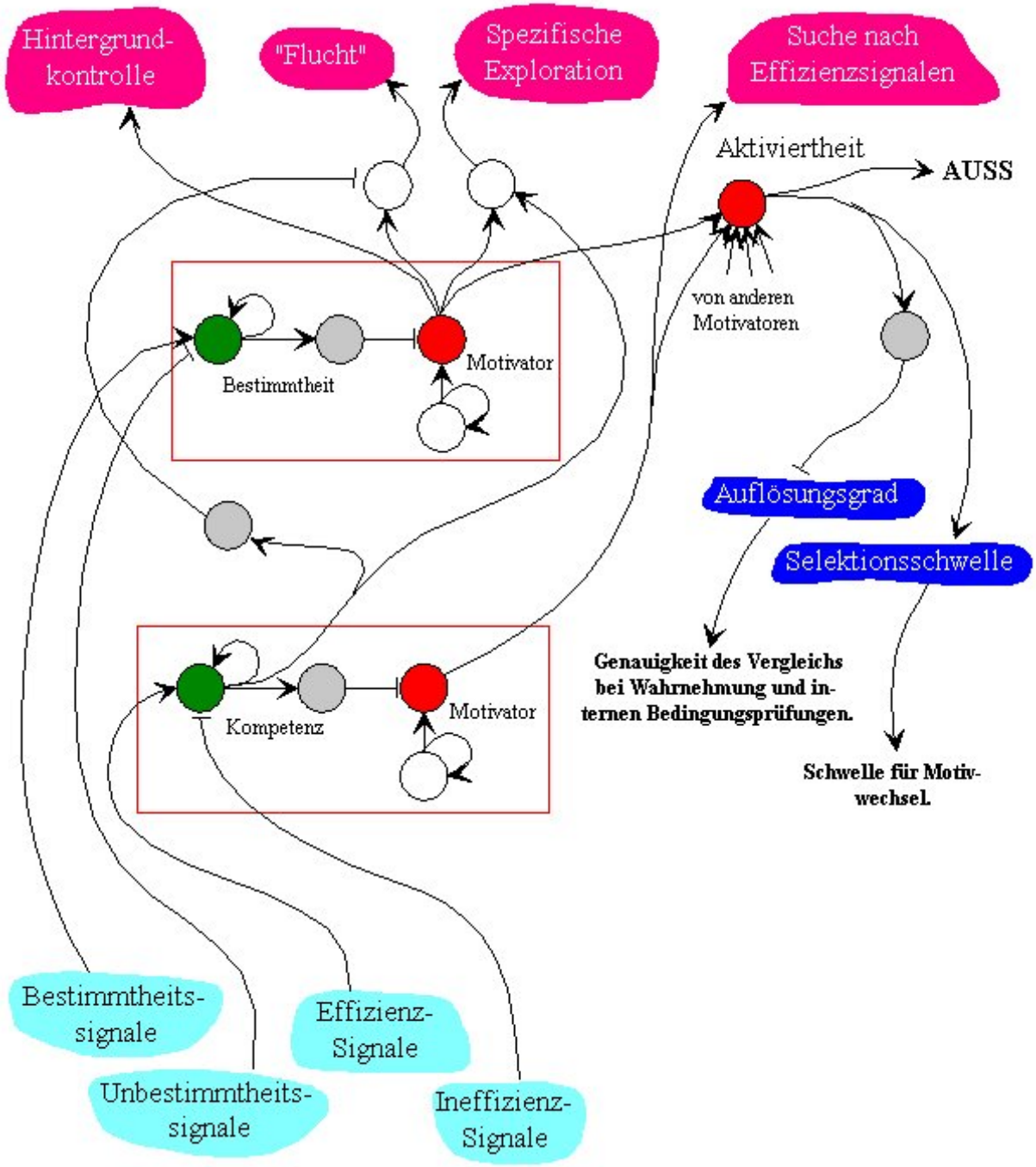


**Abbildung 14:** Emotionale Regulation. Siehe Text.

Man sieht zwei Motivatoren, nämlich den für "Bestimmtheit" und einen anderen für "Kompetenz". Diese Motivatoren werden aktiv, wenn die "Bestimmtheit" bzw. die "Kompetenz" (hier als Aktivität akkumulierender Neuronen dargestellt; der "Bestimmtheits- bzw. Kompetenzpegel" ist also die Aktivität des jeweiligen Neurons) nicht mehr genügend hoch sind, da sie durch "Unbestimmtheitssignale" bzw. "Ineffizienzsignale" herabgesetzt werden. Die Neuronen, die die "Bestimmtheitsmessung" bzw. "Kompetenzmessung" vornehmen, funktionieren

wie gleitend akkumulierende Speicher. B-Signale bzw. E-Signale steigern ihre Aktivität; U-Signale und IE-Signale senken die Aktivität.

Steigerung bzw. Senkung der "Bestimmtheit" bzw. "Kompetenz" geschehen immer mit einer "Zacke". Eine Bestimmtheits- bzw. Unbestimmtheitssignal z.B. führt nicht einfach zu einer Erhöhung oder Senkung der Bestimmtheit, sondern zu einer Veränderung "mit Aufschaltung", die dann wieder mehr oder minder schnell zurück genommen wird. Mathematisch sieht dies folgendermaßen aus: Sei die Bestimmtheit z.B. 0.9. Nun gibt es ein Unbestimmtheitssignal der Stärke – sagen wir – 0.1. Dann wird die Bestimmtheit nicht um 0.1 herabgesetzt, sondern z.B. um 0.2 ("Aufschaltung von 100%), sinkt also auf die Stärke von 0.7. Die Aufschaltung wird dann wieder zurückgenommen, so dass die Bestimmtheit wieder auf 0.8 (= 0.9 - 0.1) ansteigt. — Technisch gesehen ist diese "Zackenregelung" die Addierung einer Differenzmessung zur Zustandsmessung.

Das gleiche gilt für Effizienz und die Ineffizienzsignale. — Diese "Zacken" bei der Bestimmtheits- bzw. Kompetenzmessung führen dazu, dass z.B. Unbestimmtheitssignale einen kurzfristigen, schnellen Abfall der Bestimmtheit und damit einen starken Anstieg der Aktivierung erzeugen. Das wird gewöhnlich dazu führen, dass die augenblicklich handlungsleitende Absicht für eine kürzere oder längere Frist fallengelassen und durch eine "Orientierungsreaktion" (Pavlov, 1927) ersetzt wird; ein Beobachter von **Ψ** würde sagen: "Jetzt hat es aber einen Schreck bekommen!" Die "Zacke" dient zur Erzeugung einer situationsspezifischen Aufmerksamkeitsänderung.

Wie aus der Abbildung 14 ersichtlich, lösen aktive Bestimmtheits- bzw. Kompetenzmotivatoren bei **Ψ** jeweils bestimmte Aktionen aus bzw. steigern die Bereitschaft dazu. Eine absinkende Bestimmtheit führt zu einer Erhöhung des Ausmaßes der "Hintergrundkontrolle". Das bedeutet, dass sich **Ψ** häufiger als gewöhnlich von seiner augenblicklichen Absicht abwendet und die Umgebung kontrolliert. Denn bei geringer Vorausberechenbarkeit der Umwelt sollte man auf alles vorbereitet sein. Allerdings kann diese Hintergrundkontrolle bei sehr geringer Bestimmtheit die Konsistenz des Verhaltens so gut wie vollständig zerstören. Hoch erregt befasst sich **Ψ** fast ausschließlich mit der Durchmusterung der Umgebung nach möglichen Gefahrenquellen.

Weiterhin steigt bei absinkender Bestimmtheit die Tendenz zu Fluchtverhaltensweisen oder aber zu Verhaltensweisen der spezifischen Exploration. Wenn bei absinkender Bestimmtheit die Kompetenz noch eine relativ hohe Stärke hat, so wird das eher zur spezifischen Exploration führen. Wenn aber die Kompetenz gering ist, so wird die Wahrscheinlichkeit von Fluchtverhaltensweisen größer werden. **Ψ** zieht sich in solchen Fällen also im Extremfall in sichere Bereiche zurück, in denen es weiss, was geschieht und vermeidet den Kontakt zu der unbestimmten Realität.

Nicht so extreme Fälle von Flucht sind Informationsverweigerung; man betrachtet einfach die Bereiche der Realität nicht mehr, die sich als unbestimmt erwiesen haben. Zum "Rückzug"

aus der Realität gehört auch, dass **Ψ** bei absinkender Bestimmtheit zögerlicher in seinem Verhalten wird, nicht so schnell zu Aktionen übergeht, länger plant als es dies unter anderen Umständen tun würde, nicht so "mutig" ist beim Erkunden. "Flucht" bedeutet also eine große Menge verschiedenartiger Aktivitäten, die aber alle das Ziel haben, das Ausmaß des Kontaktes mit der unbestimmten Realität möglichst zu vermindern.

Spezifische Exploration bedeutet Informationssuche. Diese kann in verschiedener Weise stattfinden. Man kann den unbestimmten Realitätsausschnitt einfach beobachten, um auf diese Art und Weise herauszubekommen, welchen Gesetzen die Realität gehorcht, welche Regeln in ihr herrschen. Oder man kann mit der unbestimmten Realität "spielen". Man kann bestimmte Aktionen erproben und dadurch zu finden versuchen, wie sich das Objekt unter diesen oder jenen Umständen verhält.

Eine absinkende Kompetenz erhöht das Bestreben, Effizienzsignale zu finden. Auch dies "Streben" kann sehr verschiedenartige Formen annehmen. Eine primitive Form der Suche nach Effizienz ist die unmittelbare Aktion. Man pfeffert die Teetasse an die Wand; das Zerklirren der Tasse hat doch wenigstens einen Effekt. Andere Formen der Suche nach Effizienzsignalen sind "konstruktiver". Ich versuche mich an einer schwierigen Aufgabe, von der ich aber weiss, dass ich sie letzten Endes bewältigen kann. Je nach Begabung male ich ein Bild, schreibe ein Gedicht oder entwerfe ein Computerprogramm.

Oder ich stopfe einfach ein Stück Torte in mich hinein. Das bringt eine mehr oder minder große Bedürfnisbefriedigung und das hilft der Kompetenz gleichfalls auf. — Oder ich suche nach "Affiliation". Ich suche nach Leuten, die mir zeigen, dass ich ihnen sympathisch bin, dass sie mich schätzen. Denn wenn ich weiss, dass es solche Leute gibt, so weiss ich, dass sie mir gegebenenfalls helfen werden. L-Signale steigern, indirekt, ebenfalls die Kompetenz. — So kann die Suche nach Effizienzsignalen aussehen.

Es werden aber durch das Ausmaß der Bedürfnisse nach "Bestimmtheit" oder "Kompetenz" nicht nur bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst, sondern es werden auch bestimmte Parameter der Informationsverarbeitung verstellt. Die Erregungsstärke und die Anzahl der Motivatoren bestimmt den allgemeinen Parameter "Aktiviertheit". Die Aktiviertheit bestimmt ihrerseits die Stärke des "Allgemeinen Unbestimmten Sympathikus-Syndroms" (AUSS, s. Ehrhardt, 1975, S. 67, 73). Das Allgemeine Unbestimmte Sympathikus-Syndrom ist eine Art Bereitschaftsstand des Organismus zum Handeln. Er beinhaltet auf der einen Seite einen hohen Muskeltonus, eine hohe Aktivierung des Herzens und damit einen vermehrten Blutumlauf, eine erhöhte Atemfrequenz und eine große Tiefe des Atmens. Die Sinnesorgane sind auf "Empfangsbereitschaft" gestellt; z.B. weiten sich die Pupillen.

Bei **Ψ** als Dampfmaschine bedeutet dieses AUSS im wesentlichen einen hohen Dampfdruck der durch stärkere Heizung erzeugt wird. — "Intern" ist von der Aktiviertheit abhängig die "Selektionsschwelle" und der "Auflösungsgrad". Die Selektionsschwelle bestimmt das Ausmaß der Konzentration des Organismus auf die augenblickliche Absicht. Ist die Selektions-

schwelle hoch, so kann **Ψ** nur schwer abgelenkt werden; es konzentriert sich auf seine Aufgabe und ist relativ unempfänglich für "Seitenreize". Das hat auf der einen Seite natürlich Vorteile; die augenblickliche Aufgabe wird auf diese Weise besser erledigt. Auf der anderen Seite hat eine hohe Selektionsschwelle auch Nachteile, sie kann zur Rigidität, zur "Sturheit" führen; in bestimmten Situationen ist **Ψ** vielleicht allzu wenig ablenkbar und daher nicht in der Lage, plötzlich auftauchende Gelegenheiten zu ergreifen oder unerwarteten Gefahren zu begegnen.

Der Auflösungsgrad ist die Genauigkeit interner Vergleichsprozesse. Prozesse, in denen Gedächtnisschemata miteinander verglichen werden, nehmen eine zentrale Rolle bei den kognitiven Operationen ein. Deshalb verändert ein Wechsel des Auflösungsgrades das kognitive Operieren in bedeutsamer Weise. Generell ist ein gesenkter Auflösungsgrad verbunden mit "Überinklusivität". Überinklusivität bedeutet, dass die Ähnlichkeit von Objekten überschätzt, ja dass nur ähnliche Dinge unter Umständen miteinander *identifiziert* werden. Konkret bedeutet das, dass man glaubt, ein Ziel, dem man nur nahe gekommen ist, schon erreicht zu haben. Oder man glaubt, dass die Anwendungsbedingungen für eine bestimmte Operation gegeben sind, obwohl dies nicht der Fall ist.

Die mit einem gesenkten Auflösungsgrad verbundene Überinklusivität führt zu groben, kurzen Plänen, die leicht fälschlicherweise für zielführend gehalten werden. Das führt zu risikobehafteten Aktionen. Es ist klar, dass man beim Planen nicht so viel "verzweigt", wenn einem die Differenziertheit der möglichen Wege durch den Realitätsbereich aufgrund eines zu niedrigen Auflösungsgrades verschlossen bleibt. Deshalb sind Planungen mit einem niedrigen Auflösungsgrad durch einen allzu großen Optimismus (= überhöhte Erfolgserwartung) gekennzeichnet.

Wir haben soeben von Emotionen geredet ohne den Begriff Emotion verwendet zu haben. Wir haben von sich ändernden Bedürfnispegeln gesprochen, von Aktionen, die durch das Absinken von "Bestimmtheit" oder "Kompetenz" ausgelöst werden, von "Selektionsschwelle" und "Auflösungsgrad". Man kann Emotionen durch diese Konzepte ersetzen! Man überlege sich einmal, was geschieht, wenn man **Ψ**, gerade auf dem Wege zu einer Wasserstelle, ein Hindernis in den Weg legt. Das Hindernis ist unerwartet, also geht es abwärts mit der Bestimmtheit und hoch mit der Aktiviertheit. Die Beseitigung des Hindernisses ist schwierig, also geht es abwärts mit der Kompetenz und noch mehr aufwärts mit der Aktiviertheit. Resultat also: hohe Aktiviertheit, Orientierungsreaktion, Tendenz je nach "Restkompetenz" zur Flucht oder zur spezifischen Exploration, Tendenz zur Suche nach Effizienzsignalen. Und daraus kann sich Verschiedenes ergeben, nämlich z.B.:

- Bei mittelhoher Kompetenz: Aggression gegen das Hindernis als eine Mischung von Effizienzsuche und spezifischer Exploration. Aber die Aggression ist ziemlich blind, denn der Auflösungsgrad ist gering (hohe Aktivierung), also unter Umständen nicht sehr effektiv.
- Bei geringer Kompetenz: eher Flucht oder sehr zögerliche Annäherung an das Hindernis. Das Hindernis wird nicht "angegangen", sondern eher beobachtet.

- Bei sehr hoher Kompetenz: "coole" (weil Aktiviertheit nicht so hoch!) spezifische Exploration des Hindernisses.

Und dann kann es, je nach Beschaffenheit des Hindernisses, in verschiedener Weise weitergehen. Vielleicht ergibt sich aus der Aggression Flucht und Resignation. Vielleicht aber noch stärkere Aggression. Vielleicht ergibt sich aus der ersten Flucht späterhin doch Aggression, wenn es sich aus der Beobachtung ergibt, dass man dem Hindernis gewachsen ist. Usw.

Und wenn sich die U-Signale häufen? Dann geht die Bestimmtheit abwärts und damit – mehr oder minder schnell – auch die Kompetenz. Dann ergibt sich, je nachdem wie schnell die Kompetenz abnimmt, spezifische Exploration oder aber auch Flucht und ständige Hintergrundkontrolle; Ängstlichkeit und Resignation.

Man kann eine recht große Menge von emotionalen Prozessen im Umfeld dessen, was wir in der Alltagssprache als Ärger, Angst, Furcht, Resignation, Hilflosigkeit, Hochmut, Wagemut, Neugier, Schreck, Erstaunen bezeichnen, auf das Modell der Abbildung 13 zurückführen. Die emotionalen "Gesichter" von **Ψ** kommen dadurch zustande, dass bestimmten Zuständen oder Veränderungen von Kompetenz, Bestimmtheit, Aktiviertheit usw. bestimmte Muskelkontraktionen zugeordnet sind. Dem plötzlichen Absinken der Bestimmtheit ("Unbestimmtheitszacke"), verbunden mit geringer Kompetenz, sind z.B. weit offene Augen, ein weit offener Mund und hochgezogene Brauen zugeordnet. Ein Schmerzgesicht: eng zusammengepresste Lippen, herabgezogene Brauen, zugekniffene Augen (s. hierzu im einzelnen Ekman & Friesen, 1976).

So also kann man generell emotionales Geschehen beschreiben. Man sollte nicht verschweigen, dass **Ψ** auf der jetzigen "Ausbaustufe" zu manchen Gefühlsregungen nicht in der Lage ist. Bestimmte Emotionen können bei ihm nicht auftreten. Dazu gehören z.B. Liebe, Eifersucht, Stolz, Trauer (wobei es allerdings darauf ankommt, was man mit diesen Begriffen jeweils genau meint; "Trauer" im Sinne einer Depression kommt bei **Ψ** sehr wohl vor, nicht aber Trauer oder Trauerarbeit im Sinne eines schicksalhaften "nie mehr!" Auch "liebt" **Ψ** bestimmte Situationen, weil sie als Zielsituationen positiv besetzt sind und immer wieder angestrebt werden. Aber Liebe als ein Motivamalgam von Affiliation und Sexualität, verbunden mit Hoffnungen und Befürchtungen, kann bei **Ψ** nicht auftreten).

Die genannten Emotionen fehlen aus einem ganz einfachen Grund. Sie sind bei **Ψ** nicht möglich, weil für die genannten Emotionen (und vielleicht noch für einige mehr) etwas benötigt wird, was **Ψ** nicht aufweist, nämlich Bewusstsein im Sinne der Fähigkeit zur Selbstbetrachtung. Genauer gesagt: um z.B. trauern zu können, müsste **Ψ** sich selbst zum Objekt der Betrachtung machen können. Es müsste sich sagen können: "bislang war dieses Objekt (diese Situation, diese Person) für mich sehr wertvoll, da an der Befriedigung sehr vieler Bedürfnisse beteiligt oder dafür notwendig. Nunmehr wird das *nie* mehr der Fall sein! Wie wird mein Leben doch freudlos sein!"

**Ψ** müsste sein vergangenes Leben zum Objekt der Betrachtung machen, die Regeln dieses Lebens erkennen können (und damit auch sich selbst) und erfassen können, dass sich diese Regeln unwiderruflich geändert haben und damit für bestimmte Ereignisse keinen Raum mehr bieten können. Das bedeutet den Verlust von Hoffnungen (als Erwartung positiver Ereignisse).

**Ψ** zu dieser Art von Selbstbetrachtung nur in der aktuellen Implementation nicht in der Lage; wir wissen schon, wie wir **Ψ** auch diese Fähigkeit verleihen können (s. Tisdale, 1998), wollen aber darauf hier nicht eingehen.

## 3. Lebensabschnitte von Ψ

Wenn man **Ψ** nun in eine Realität, wie sie in Abbildung 5 ausschnittweise dargestellt ist, "aussetzt", dann verhält sich **Ψ** in ganz bestimmter Weise. Zunächst weiss es nichts von der Realität; es weiss auch nicht, welcher Art die Situationen sind, die in der Realität vorkommen können. Es kann sich aber umsehen und auf diese Art und Weise für die jeweiligen Situationen sensorische Schemata anlegen. Ausserdem wird **Ψ** natürlich bald von Hunger oder von Durst angetrieben werden und wird sich auf die Suche nach Energie- bzw. Wasserplätzen machen. Dabei kann es zunächst nichts anderes tun, als sich nach dem Prinzip "Versuch und Irrtum" zu verhalten. Dabei aber wird **Ψ** lernen und wird immer mehr das Regelwerk erwerben, welches seine Realität beherrscht. Es wird auch – und das ist fast am wichtigsten – Ziele erlernen; es wird erlernen, wo Energie- bzw. Wasserpunkte sind. Und es wird "negative Ziele" lernen, nämlich Schmerzpunkte, dies es zu vermeiden trachtet.

Wenn es dann ein wenig gelernt hat, werden **Ψ**, wenn ein Bedürfnis auftaucht, Ziele einfallen, die es anstreben sollte, um das Bedürfnis zu befriedigen. Ausserdem werden ihm vielleicht zielführende Verhaltensweisen einfallen. Und wenn ihm keine komplexen Verhaltensweisen einfallen, dann wird **Ψ** anfangen, "nachzudenken"; es wird probeweise ("Denken ist inneres Probehandeln" meint Freud, 1955) Stücke seiner Erinnerungen an die neu zusammensetzen und auf diese Weise vielleicht eine zielführende Verhaltensweise finden. **Ψ** hat kein vollständiges Gedächtnis, sondern vergisst, was es gesehen und getan hat, in größerem oder geringerem Maße. Deshalb täuscht es sich mitunter bei seinen Planungsversuchen und es erinnert sich fälschlich an bestimmte zielführende Verhaltensweisen. Aber mit der Zeit wird sein Verhalten besser und besser und es wird wissen, auf welche Art und Weise es von einem bestimmten Punkt zu einem Punkt kommt, an dem es seine Bedürfnisse befriedigen kann.

Dann folgt die Phase der "Automatismen". Wenn ein Bedürfnis auftaucht, braucht **Ψ** nicht mehr lange nachzudenken, sondern es fällt ihm ein, was zielführend getan werden muss. Dann bewegt es sich stereotyp in seinem Realitätsbereich in Bahnen, die ihm sein Gedächtnis vorschreibt. Und eigentlich ist damit die Lernaufgabe für **Ψ** in dem jeweiligen Realitätsbereich beendet.

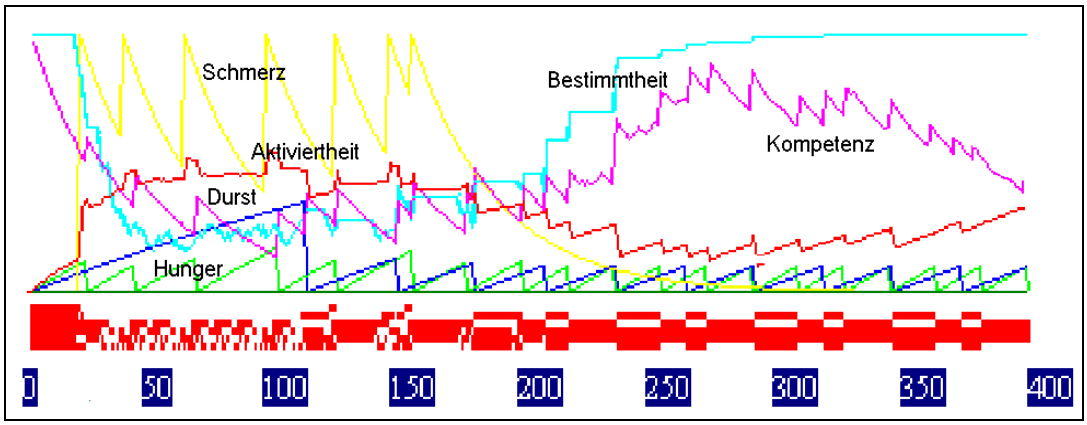


**Abbildung 15: Ψ** in einer neuen, aber einfachen, "Welt".

Man sieht in Abbildung 15 die Phasen des Lebens von **Ψ** in einer neuen, gegenüber der Beschreibungen in Abschnitt 1 aber vereinfachten, Realität. Aufgrund der Unfähigkeit von **Ψ**, seine Bedürfnisse zu befriedigen und Schmerzen zu vermeiden, sinkt zunächst der Kompetenz und Bestimmtheitspegel stark ab und die Aktiviertheit steigt. Fast stirbt **Ψ** an Wassermangel (ansteigender Durst bis zum Zeittakt 100). Es verletzt sich häufig (Schmerzzacken) und irrt ziemlich orientierungslos umher. (Das sieht man in dem Balken unter der Zeitskala, in dem die Situationen, in denen sich **Ψ** jeweils befindet, als graphischer 6-er Code dargestellt sind.)

Wir können insgesamt drei Phasen im Leben von **Ψ** in einem neuen Realitätsbereich unterscheiden. In der ersten Phase werden Ziele und Regeln erlernt; weitgehend nach dem Prinzip "Versuch und Irrtum". Es ist eine Explorationsphase, in der sich **Ψ** die Eigenschaften des Realitätsbereiches, in dem es sich bewegen muss, einprägt.

In der zweiten Phase bewegt es sich schon effektiver. Inzwischen ist sein Gedächtnis so reichhaltig geworden, dass es genügend Material bietet zum Planen. Nunmehr erarbeitet sich **Ψ** die Wege zu den angestrebten Zielen weitgehend selbständig. Die erkannten Regeln konsultieren sich und durch die Planungstätigkeit gewinnt **Ψ** mehr und mehr Makrooperatoren, die als Ganzes verwendet werden. Operatorketten verschmelzen also zu Einheiten.

Und die dritte Phase ist die Routinephase; eine Phase, in der **Ψ** weiss, wie es zu den angestrebten Bedürfnisbefriedigungen kommt und auch weiss, wie es die Schmerzpunkte vermeiden kann. (Die Routinephase ist keineswegs die letzte Phase im Leben von **Ψ**; es geht noch weiter.) — Wir wollen diese drei Phasen nachfolgend etwas anschaulicher beschreiben, damit man sich mehr darunter vorstellen kann.

Wir haben **Ψ** die Fähigkeit zum "Sprechen" gegeben. Das heißt konkret, dass **Ψ** je nach seinen inneren Zuständen eine sprachliche Äusserung von sich gibt, die den jeweiligen inneren Zustand ausdrückt. Die Äusserungen selbst haben wir **Ψ** vorgegeben; es synthetisiert sie also nicht selbständig. Die "Sprachäusserungen", die man in den nachfolgenden Protokollen findet, sind also eigentlich nur Zeichen, Zeichen für bestimmte innere Zustände oder Prozesse von **Ψ** und keine echte Sprache. Als Zeichen aber sind sie ernst zu nehmen. Es sind keineswegs nur

Illustrationen, die irgendwie etwas nicht Vorhandenes vortäuschen oder simulieren. Wenn **Ψ** sagt: "Ich weiss jetzt nicht mehr weiter!", dann weiss es wirklich nicht mehr weiter. Wenn **Ψ** sagt: *Ich bin jetzt sehr erregt!*, dann ist es wirklich sehr erregt. — Die nachfolgenden Protokolle stammen aus Simulationsläufen mit einer vereinfachten (Vektor-)Umwelt von **Ψ**.

In der Explorationsphase äussert **Ψ** folgendes: *Ich habe Hunger! — weiss nicht, wo ich Benzin finden kann! — da muss ich einfach probieren! — Ah ja,* **A** *geht also und wandelt die Situation* **000 000** *in* **000 010.** *Das sollte ich mir merken! Nun mal weiter! — Ich weiß nicht, wie es weitergehen kann. Weiter probieren, sonst hilft nichts. —* **B** *geht nicht,* **L** *geht nicht,* **F** *geht auch nicht! — Hatte ich nun* **B** *schon gemacht? Ich weiss nicht mehr! Also wie ist es mit* **B***? — Nein, geht nicht! Ah ja,* **H** *bringt mich weiter.* **H** *wandelt* **000 010** *in* **010 010**. *Sollte man sich merken. — Autsch! Das tat weh! Diese Situation sollte man vermeiden! Nichts wie weg hier, aber wie? Was sollte man bloß machen?* **A** *geht nicht,* **B***, ach das geht; jetzt bin ich auf* **010 001**. *Oh und hier gibt es Benzin! Das tut gut; also merken!"*

So ungefähr sieht eine Episode in der ersten, der Explorationsphase des Lebens von **Ψ** in einer bestimmten Realität aus. Versuch- und Irrtumsverhalten, man landet auf "Schmerzpunkten", man findet aber auch Gelegenheiten zur Bedürfnisbefriedigung. **Ψ** merkt sich seinen Gang durch das Labyrinth; da es aber auch wieder vergisst, ist seine Gedächtnisabbildung immer unvollständig, grob; das Vergessen frisst gewissermaßen Löcher in das Protokoll und auf diese Art und Weise kommt es durchaus vor, dass **Ψ** sich nicht mehr oder nur unvollständig erinnert. Wenn also **Ψ** oben meinte: "Hab' ich nun **B** schon angewendet? Weiss ich nicht mehr!", so ist das ernst zu nehmen. **Ψ** hat dann wirklich vergessen, ob es **B** schon einmal angewendet hat.

Wenden uns einmal dem Verhalten von **Ψ** während der "kognitiven" Phase zu. Das sieht folgendermaßen aus:

*Ich habe Durst! Da müsste ich zu der Situation* **101 ...** *und dann – glaube ich –* **000** *oder* **001**. *Weiss ich nicht mehr genau! – Was mach' ich denn da? Ich glaube* **A-C-D** *bringt mich weiter! Aber wie es dann weitergeht, weiss ich nicht mehr genau!*

**Ψ** wendet nacheinander die Operationen **A C** und **D** an und kommt damit von **110 001** nach **110 101**.

*Und jetzt glaub' ich wieder etwas, was mit* **A** *beginnt! Ich glaube* **A-K-A** *bringt es!*

**Ψ** macht **A-K-A**, aber die letzte Anwendung des Operators **A** hat keine Wirkung.

*Tja, da fällt mir nichts mehr ein! Da muss ich probieren! Wie ist es mit* **N***? Geht nicht, wie ist es mit* **H***? Geht auch nicht! — Ich glaube, das ist alles zu schwer für mich! Ich schaff' das nicht!*

*Dennoch mal weiter!* **F***, Oh ja: Das geht! jetzt bin ich also bei* **111 010** *und ich will nach* **101 000***! Da fällt mir direkt nichts ein! Dumm! Das ist wirklich schwer hier! Mal planen! Wenn ich* **F** *noch einmal machen würde? Nein, das bringt nichts. Und* **E***? Das würde zu* **111 111** *füh-*

*ren. Und dann könnte man* **F** *anwenden; geht ja meistens! Dann käme ich zu* **111 110***, weil* **F** *die letzte* **1** *in eine* **0** *verwandelt. Und dann* **G** *und dann* **F***, Au nein!, das darf ich nicht machen, da komm' ich zu* **111 000** *und das tut weh! Also noch mal zurück!* **E F** *könnte man machen und dann* **M***? Das würde zu* **101 110** *führen. Und das ist ja immerhin schon ziemlich ähnlich zu* **101 000***! Machen wir das mal!*

**Ψ** wendet nacheinander die Operationen **E-F-M** an und kommt damit auch richtig zu **101 110**.

*Ach ja und jetzt ist es einfach!* **G-F**!

**Ψ** wendet die Operationen **G** und **F** an und kommt damit zur angestrebten Zielsituation **101 000**.

Bei diesem Protokoll ist zu betonen, dass die Ausdrücke der Hilflosigkeit, die man findet, keineswegs vom Programmierer hineingebracht wurden, damit **Ψ** "menschlich" wirkt. **Ψ** *fühlt* sich in dieser Situation hilflos! Wie das? Nun, **Ψ** verfügt über die beschriebene mitlaufende Kompetenzberechnung. Jede Bedürfnisbefriedigung, jedes effektive Verhalten, erhöht den Kompetenzpegel; dann aber, wenn Bedürfniszustände lange bestehen bleiben, sinkt der Kompetenzpegel ab. Der Kompetenzpegel ist eine Art von mitlaufender Lust-Unlust-Bilanzierung. Jede Bedürfnisbefriedigung erhöht den Pegel; Bedürfnisse die nicht befriedigt werden können, senken den Kompetenzpegel. Der Kompetenzpegel sinkt auch von allein langsam ab! Neben der so erfolgenden Messung der Kompetenz misst **Ψ** noch die Unbestimmtheit. Jedesmal, wenn ein Ereignis auftritt, welches so nicht erwartet worden war, jedesmal also, wenn z.B. ein Operator, den **Ψ** für anwendbar hält, nicht anwendbar ist, sinkt der "Bestimmtheitspegel". Dann aber, wenn etwas gut geht, wenn ein Plan sich als erfolgreich erweist, wenn **Ψ** die richtigen Operatoren und Ziele einfallen, dann steigt der Bestimmtheitspegel. — Kompetenz- und Bestimmtheitspegel wirken sich auf das Verhalten von **Ψ** aus. Generell erzeugt ein niedriger Bestimmtheitspegel bei **Ψ** die Tendenz zur spezifischen Exploration. **Ψ** erforscht dann diejenigen Punkte im Labyrinth, die es nicht genau kennt oder "denkt" nach. **Ψ** stellt sich dann beispielsweise folgende Probleme: *Ich weiss, dass* **101 000** *meinen Durst befriedigt. Aber was wäre, wenn das plötzlich nicht mehr der Fall wäre? Wo könnte ich dann meinen Durst befriedigen? Da gab es noch irgendetwas anderes; so ähnlich wie* **001 001**. *Aber ich weiss es nicht mehr genau!"* **Ψ** erinnert sich hier an die Situation **001 000**, die in der Tat das Wasserbedürfnis befriedigen würde.

*Wie könnte ich dahin kommen? Wenn ich z.B. in der Situation* **101 100 N** *machen würde und dann* **L***? Nein! Ich käme dann zu der Situation* **010 010** *und die tut weh!*

In dieser Weise *grübelt* **Ψ** bei hoher Unbestimmtheit (= niedriger Bestimmtheitspegel) und bessert auf diese Art und Weise sein Gedächtnis auf.

Ein niedriger Kompetenzpegel führt, wenn er nur nicht *allzu* niedrig ist, dazu, dass **Ψ** "auf Abenteuer" ausgeht. **Ψ** erforscht dann Teile des Labyrinthes, die es noch nicht kennt, setzt

sich also freiwillig Unbestimmtheit aus, um auf diese Art und Weise neue Entdeckungen zu machen.

So sieht also das Verhalten von **Ψ** in der kognitiven Phase aus. Wenden wir uns nun der letzten Phase zu, der **Routinephase**. Folgende Sequenz kennzeichnet das Verhalten von **Ψ**! *Ich habe Hunger! Nun, kein Problem*: **E-F-L-A-H-B***! Und da sind wir schon!* Lange Phase der Ruhe, da nun das Hungerbedürfnis befriedigt ist. *Jetzt habe ich Durst! Kein Problem!* **A-C-A-D-K-F-E-F-M-G-F***! Und da sind wir schon!*

In dieser Phase hat **Ψ** zwei große Makrooperatoren, die es automatisch in der jeweiligen Situation richtig anwendet. Man sieht in Abbildung 15, dass **Ψ** nun nur noch zwischen zwei Situationen hin- und herpendelt. Es kann dabei gefährliche Situationen gänzlich vermeiden. Die Befriedigungen sind in dieser Phase nicht mehr sonderlich stark, da die Bedürfnisse immer schnell befriedigt werden können. Dies aber führt dazu, dass in der Routinephase die Kompetenz, die ja von der Größe der Bedürfnisbefriedigung abhängig ist, langsam immer weiter absinkt. **Ψ** operiert mit einem hohen Bestimmtheits- und einem sinkenden Kompetenzpegel. Und das setzt nach einer gewissen Zeit ein neues Motiv: **Ψ** geht auf Abenteuer aus. Das sieht im 'lauten Denken' von **Ψ** folgendermaßen aus: *Ach ist das langweilig hier! — Ich muss mal was anderes machen! Machen wir hier mal nicht* **M** *wie üblich, sondern* **G***! Und dann? Na ja, probieren wir mal rum! — Autsch, das tut weh! Nun ja, Pech gehabt! – Und jetzt* **E***! Ach nee, dann komme ich mit* **F-L-A** *wieder nach* **110 010** *und das ist dieser Standardweg! Aber was kann man sonst machen?*

So erforscht **Ψ** neue Bereiche des Labyrinthes. Dies erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn das Labyrinth nicht konstant ist, wenn also beispielsweise Nahrungs- und Wasserquellen sich erschöpfen und keine Energie und keine Flüssigkeit mehr liefern. In einem solchen Fall erweist sich eine umfassende Kenntnis der Realität von **Ψ** als günstig, weil **Ψ** aufgrund dieser Kenntnis von der einen zu einer andere Quelle ausweichen kann. Auch könnten bestimmte Wege nicht mehr gangbar sein, weil plötzlich Situationen, die vorher ungefährlich waren, plötzlich gefährlich werden. Auch in einem solchen Fall hilft die Kenntnis des Labyrinthes, die in Phasen des Umherstreifens, in Phasen der diversiven Exploration, erworben worden waren, weiter.

So sieht also das Verhalten von **Ψ** aus, so ist sein Leben in einer bestimmten Umwelt.

## 4. Was soll's?

Nun haben wir also eine Art lebendiger Dampfmaschine entwickelt. Ist das nun nur eine Spielerei? Es ist *auch* eine Spielerei! Hauptsächlich aber ist es "synthetische Psychologie" (vergl. Braitenberg, 1984). Wir versuchen, psychische Prozesse zu erklären, indem wir sie konstruieren. Wir versuchen, zu analysieren, wie psychische Prozesse als Prozesse der Informationsverarbeitung aussehen (oder – besser – aussehen *könnten*). Und das Ergebnis solcher Bemü-

hungen ist eine Theorie über kognitive, motivationale und emotionale Prozesse und ihren Interaktionen. Diese Theorie ist exakt und formalisert; man kann sie in die Form eines Computerprogramms bringen. Und das hat den großen Vorteil, dass die Theorie nicht nur "verstanden" werden kann, sondern zusätzlich in ihrer Funktion betrachtet werden kann. Sie wird so sinnfällig. Der entsprechend programmierte Computer ist ein *Modell* der psychischen Prozesse und unmittelbar anschaulich. Das erleichtert die Überprüfung der Theorie (vergleiche Schaub, 1997, Schaub & Schiepek, 1992).

Wie überprüft man eine solche Theorie? Das kann auf verschiedenen Ebenen geschehen. Eine einfache, erste Form der Prüfung ist die Analyse, ob das, was **Ψ** in einer bestimmten Situation tut, wie es handelt und wie es sich fühlt, plausibel und nachvollziehbar ist. Wir haben diese Methode in diesem Aufsatz verwendet, wenn wir das 'laute Denken' von **Ψ** und seine Gesichtsausdrücke für bestimmte Umstände "zitierten". Die drei (oder vier) Phasen im Leben von **Ψ**, so wie sie im letzten Abschnitt geschildert worden sind, sind z.B. sehr menschlich; man findet sie und die entsprechenden Begleitgefühle auch bei Menschen, die man mit einer neuen Realität konfrontiert. Natürlich wollten wir mit diesen "Zitaten" zeigen, wie "menschlich" **Ψ** ist.

Aber "plausible Übereinstimmung": das erscheint sehr "weich" als Prüfungsmethode. Man kann das schlecht Objektivieren, auf Grade der Übereinstimmung, auf "Gültigkeitskoeffizienten". Auf der anderen Seite: es ist eine solche Plausibilität gar nicht leicht erreichbar. Die ersten Entwürfe von **Ψ** waren geradezu bejammernswert in dieser Hinsicht. Besonders, wenn man **Ψ** mit einer Mimik und mit einer Sprachausgabe versieht, sieht man sehr gut, was an **Ψ**s Verhalten "menschlich" ist und was nicht. Insofern ist das "Gesicht" von **Ψ** keineswegs nur Spielerei, genauso wenig wie die 'Befähigung' von **Ψ** zum "lauten Denken"; beides macht den Vergleich des Verhaltens von **Ψ** mit menschlichem Verhalten leichter. — Als "erstes" Kriterium ist die Plausibilität, die "intuitive" Nachvollziehbarkeit gar nicht schlecht.

Jenseits einer solchen Plausibilitätsprüfung kann man aber die Gültigkeit von **Ψ** einem rigoroserem Test unterziehen. Man kann Menschen in gleichartige Welten bringen, wie wir sie für **Ψ** konstruiert haben, und nachprüfen, ob man das Verhalten dieser Menschen in solchen Welten aufgrund von **Ψ** erklären kann. "Erklären" soll hier bedeuten "Nachkonstruieren"; man versucht, **Ψ** so einzustellen, dass es das beobachtete menschliche Verhalten reproduziert. Wenn das gelingt, so ist dies ein Indiz für die Gültigkeit der Theorie, die **Ψ** zu Grunde liegt.

Eine solche "Retrognose" des Verhaltens, eine Erklärung post hoc, ist für komplizierte menschliche Verhaltensformen keineswegs leicht und fällt einem nicht in den Schoß. In der Tat gibt es *differenzierte* post hoc - Erklärungen für komplexe menschliche Verhaltensweisen in der Psychologie kaum (siehe aber Detje, 1999). Dennoch aber ist eine solche Erklärung nicht der ultimative Test einer Theorie, denn man kann dabei immer den Verdacht haben, dass die Theorie den a priori existierenden Daten – mehr oder minder bewusst – angepasst wurde.

Der beste Test einer Theorie ist eine differenzierte **Prognose** menschlichen Verhaltens. Auch das ist natürlich mit der **Ψ**-Theorie möglich und zwar in verschiedener Weise:

Man kann das Verhalten einer Gruppe von **Ψ**s in einer neuartigen Welt mit dem Verhalten von Personen in der gleichen Realität in Beziehung setzen und dabei analysieren, ob Menschen die oben genannten Phasen in der gleichen Weise durchlaufen wie **Ψ**s, ob sie die gleichen Irrtümer machen, genau so lange gefährliche Situationen nicht vermeiden können, schließlich die gleichen Automatismen entwickeln. (Verschiedene **Ψ**s verhalten sich verschieden, weil bestimmte Vorgänge in **Ψ** Zufallsprozesse und persönlichkeitsspezifische Parameterbereich enthalten (Schaub, 2001). Dadurch ergibt sich im Verhalten der **Ψ**s eine gewisse Varianz.) Man kann also das Verhalten einer **Ψ**-Population hinsichtlich aller möglichen, verschiedenen Kriterien mit dem Verhalten von Personen vergleichen.

Man kann aber auch noch weiter gehen und kann versuchen, individuelles, persönlichkeitsspezifisches Verhalten zu prognostizieren (Schaub, 2000, 2001, i.Dr.). Man kann **Ψ** eine relativ stabile Persönlichkeit dadurch verleihen, dass man bestimmte interne Parameter auf bestimmte Werte fest einstellt. Ein **Ψ** z.B. mit einem hohen Dekrementwert für das Absinken des Kompetenzpegels bei Misserfolg wird unter entsprechenden Umständen schnell mutlos und "deprimiert" werden und eher Fluchtverhalten zeigen. Wenn aber der Inkrementwert des Kompetenzpegels hoch ist, wird **Ψ** zwischen den Polen "himmelhoch jauchzend" - "zu Tode betrübt" hin und herpendeln. Wenn nur der Inkrementwert hoch ist, der Dekrementwert für den Kompetenzpegel aber niedrig, so bekommt man ein **Ψ**, welches "nicht kleinzukriegen" ist, Misserfolge "einfach wegsteckt" und es immer wieder versucht. — Es erscheint uns sehr reizvoll, **Ψ** in dieser Weise mit verschiedenen "Persönlichkeiten" auszustatten, um dann zu prüfen, ob man damit das Verhalten spezifischer Personen prognostizieren kann.

## Literatur

Anderson, J.R. (1993). *Rules of the Mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Aristoteles (Ausgabe von 1995). Über die Seele. In: *Aristoteles: Philosophische Schriften 6*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Berlyne, D.E. (1974). *Konflikt, Erregung, Neugier*. Stuttgart: Klett.

Bischof - Köhler, D. (1985). Zur Phylogenese menschlicher Motivation. In: Eckensberger, L. & Lantermann, E.D. (Eds), *Emotion und Reflexivität*. München: Urban & Schwarzenberg.

Bischof, N. (1975). A Systems Approach toward the Functional Connections of Attachment and Fear. *Child Development*, 46, 801-817.

Bischof, N. (1985). *Das Rätsel Ödipus*. München: Piper.

Bischof, N. (1988). Emotionale Verwirrungen oder: Von den Schwierigkeiten im Umgang mit der Biologie. *Wolfgang Köhler-Vorlesung auf dem 36. Kongress der DGPs*, 1-23.

Bischof, N. (1993). Die Regulation der sozialen Distanz: Von der Feldtheorie zur Systemtheorie. In: Bischof, N. (Ed), Untersuchungen zur Systemanalyse der sozialen, Motivation (I). *Zeitschrift für Psychologie*, 201, 5 – 43.

Boulding, K.E. (1978). *Ecodynamics*. Beverly Hills: Sage.

Bowlby, J (1969). *Attachment and Loss. Vol. 1: Attachment*. New York: Basic Books.

Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Detje, F. (1999). *Handeln erklären*. Wiesbaden: DUV.

Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen*. Bern: Huber.

Dörner, D. (1999). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek: Rowohlt.

Dörner, D., Schaub, H. & Stäudel, T. Strohschneider, S. (1988). Ein System zur Handlungsregulation oder - Die Interaktion von Emotion, Kognition und Motivation. *Sprache und Kognition*, 7, 217 – 239.

Ehrhardt, K.J. (1975). *Neuropsychologie ‚motivierten' Verhaltens*. Stuttgart: Enke.

Ekman, P. & Friesen, W.V. (1976). Measuring Facial Movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, 1, 56 – 75.

Freud, S. (1955). Formulierung über zwei Principien des psychischen Geschehens. (Erschienen 1911). In: S. Freud: *Gesammelte Werke*. London: Imago, 910-924.

Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes.* Göttingen: Hogrefe.

Madsen, K.B. (1974). *Modern Theories of Motivation*. Kopenhagen: Munksgaard.

Langton, C.G. (1989). Artificial Life. In: Langton, C.G. (Ed.), *Artificial Life, Volume VI of SFI Studies in the Sciences of Complexity.* Redwood City, CA: Addison-Wesley,1-47.

Newell, A. (1973). You can't play twenty Questions with Nature and win. In: Chase, W.C. (Ed), *Visual Information Processing*. New York: Academic Press.

Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Pavlov, I.P. (1972). *Die bedingten Reflexe*. München: Kindler

Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.

Schaub, H. (1996). Künstliche Seelen - Die Modellierung psychischer Prozesse. *Widerspruch*, 29, 56-82.

Schaub, H. (1997). Modelling Action Regulation. In: Brezinski, J. Krause, B. & Maruszewski, T. (Hrsg.), *Idealization VIII: Modelling in Psychology*. Amsterdam: Rodopi, 97-136.

Schaub, H. (2000). Persönlichkeit als Fehler: Personenspezifische Faktoren beim Handeln in komplexen Situationen. *Vortrag auf dem 42. Kongress der DGPs in Jena*.

Schaub, H. (2001). The Anatomy of Human Personality: A Computational Implementation. Vortrag auf der *4. ICCM (Fourth International Conference on Cognitive Modeling)* 26.7.-28.7.2001 in Fairfax, Virginia, USA.

Schaub, H. (i. Dr.). *Persönlichkeit und Problemlösen: Persönlichkeitsfaktoren als Parameter eines informationsverarbeitenden Systems*. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.

Schaub, H. & Schiepek, G. (1992). Simulation of Psychological Processes: Basic Issues and an llustration Within the Etiology of a Depressive Disorder. In: Tschacher, W., Schiepek G. & Brunner, E.H.(Eds.), *Self-Organisation and Clinical Psychology*. Berlin: Springer, 121-149.

Tisdale, T. (1998). *Selbstreflexion, Bewußtsein und Handlungsregulation*. Weinheim: PVU.

Toda, M. (1980). Emotion and Decision Making. *Acta Psychologica*, 46, 133 – 155.