



LEHRBUCH

David A. Tobinski

Kognitive Psychologie

Problemlösen, Komplexität
und Gedächtnis

EXTRAS ONLINE

 Springer

Springer-Lehrbuch

David A. Tobinski

Kognitive Psychologie

Problemlösen, Komplexität und Gedächtnis

Mit 46 Abbildungen

David A. Tobinski
Institut für Psychologie
Universität Duisburg-Essen
Essen
Nordrhein-Westfalen
Deutschland

Zusätzliches Material zu diesem Buch finden Sie auf <http://www.lehrbuch-psychologie.de>.

ISSN 0937-7433
Springer-Lehrbuch
ISBN 978-3-662-53947-7 ISBN 978-3-662-53948-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-53948-4

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Einbandabbildung: © vege / Fotolia

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Et verbum caro factum est et habitavit in nobis

Joh 1,14

Vorwort

Die Kognitive Psychologie bietet mit Themen wie der Wahrnehmung und der Aufmerksamkeit bis hin zur Sprache und künstlichen Intelligenz ein sehr breites Spektrum an Forschungsgebieten. Warum dieses Spektrum nun auch noch um den Begriff der Komplexität in einem einführenden Lehrbuch erweitert wird, beruht auf den Forschungsentwicklungen in einem zentralen Feld aller Kognitionswissenschaften: dem Problemlösen.

Als ein wesentlicher Wegbereiter der Kognitiven Psychologie gilt die Denkpsychologie. Das vorliegende Werk steht in ihrer Tradition und folgt dem Paradigma der Informationsverarbeitung. Hieraus erklärt sich, dass insbesondere Perspektiven vereinender Theorien und ihre Rahmenmodelle eine besondere Berücksichtigung finden werden und dies gilt vorrangig für die Schnittstelle der beiden Themen Komplexität und Problemlösen: dem Gedächtnis.

Damit die Theorielastigkeit (und Empirielastigkeit) des Buches ausgeglichen wird, sollen insbesondere die zusätzlichen Web-Exkurse erste Schritte in die Forschungs- und Anwendungspraxis ermöglichen.

Durch diese Exkurse wird ersichtlich, dass sich das Buch nicht nur an Studierende und Interessenten der Psychologie wendet. Einige Themen sind ebenso für Informatiker oder benachbarte ingenieurwissenschaftliche Fächer von Interesse, insbesondere die Themen Problemlösen und Produktionssysteme. Die tiefe Verbindung des Problemlösens mit dem menschlichen Lernen ist natürlich ein Thema für alle, die sich einem Lehramt oder anderen Lehr- und Lernprozessen zuwenden. Weitere Themen sprechen aber auch geowissenschaftliche oder ökonomische Disziplinen an, gerade wenn es um miteinander vernetzte und interagierende Systeme geht.

Auf Platz Eins der Top-Ten-Skills für unser Zeitalter der vierten industriellen Revolution benennt das World Economic Forum das komplexe Problemlösen. Das Thema ist also sehr umfassend und wir werden den Namen des Philosophen noch kennenlernen, der einmal sagte: „All life is problem solving.“ Dieses Vorwort beschließen und hinüberführen in eine kurze Danksagung soll allerdings ein Zitat, das trotz der Weite des aufgeschlagenen Themas auch die Begrenztheit wissenschaftlicher Perspektiven und somit die selbstverständliche Begrenztheit eines einführenden Lehrbuches einschließt, ob diese nun analytischer oder phänomenologischer Natur seien: „Die Welt ist mehr als ein zu lösendes Problem, sie ist ein freudiges Geheimnis, das wir mit frohem Lob betrachten.“ (Papst Franziskus, 2015, Umwelt-Enzyklika, S. 26)

Mein Dank gilt zuallererst der „Trierer Schule“ Annemarie Fritz (und den Stratmännern) und Walter Hussy, die in zahlreiche Diskussionen aus lernpsychologischen und denkpsychologischen Perspektiven und anschließenden gemeinsamen Betrachtungen prägend wirkten, insbesondere für die Schritte der These, Antithese und Synthese. Die „Bonner Schule“, die mit der „Trierer Schule“ in engem Kontakt stand, hat den „ältesten Feind“ (Dörner zit. nach Hei_PI: Psychologisches Institut Heidelberg, 28.01.2016) der „Bamberger Schule“ hervorgebracht. Lieber JoFu, ob das vorliegende Buch etwas zur Synthese beitragen wird? Zumindest oszilliert es schon! Für den Austausch der letzten Jahre gilt mein Dank natürlich allen sich ATP nahe fühlenden Mitgliedern!

Auch ein kurzer und intensiver Austausch kann inspirierend wirken, so sind Dirk Baecker und August Fenk für die konstruktivistischen Neueröffnungen an dieser Stelle zu nennen.

Der Universität Duisburg-Essen und der Fakultät für Bildungswissenschaften danke ich für die sich entwickelnde Nachwuchsförderung der letzten Jahre. Dem Kern, der alten Arbeitsgruppe für Psychologie und dem Institut für Psychologie, muss natürlich auch gedankt werden.

John R. Anderson und Daniel „Dan“ Bothell haben mir nicht nur einen umfassenden Einblick in die Arbeit an der Carnegie Mellon University ermöglicht, sondern unterstützen die Möglichkeit, auf der Website zum Buch eine deutsche Adaption und Modifikation des Tutorials zu ACT-R nutzen zu können. Auch Uri Wilensky fördert die Website zum Buch und daher wird NetLogo hier grundlegend eingeführt. Ich hoffe, unsere Studierenden bauen tolle neue Modelle!

Dem Springer Verlag, insbesondere dem Editor Joachim Coch sowie der Projektmanagerin Judith Danziger, danke ich für die Realisierung des vorliegenden Buches und für die Auswahl einer so lieben und geduldigen Lektorin. Vielen Dank Frau Christine Bier!

Anne Thomas und Petra Langhorst haben das Manuskript zuvor geduldig korrekturgelesen (dafür dankt Frau Bier bestimmt mit).

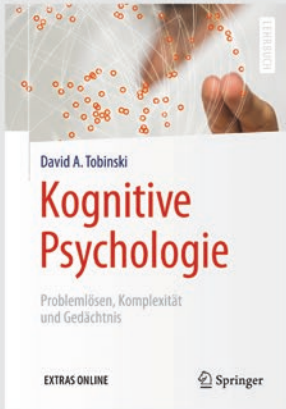
Meinen Eltern danke ich für die Bereitung eines Weges, der mich an Universitäten geführt hat, von denen eine die Worte „Pax Optima Rerum“ im Siegel trägt und die beide dem Leitbild der Familienfreundlichkeit folgen. „Familie ist ein komplexes System, das es schafft, zusammen Abendbrot zu essen.“ (Dirk Baecker, Campus Essen, 19.06.2008) Was noch schöner ist, als über komplexe Systeme zu forschen und zu schreiben, ist selbst Teil eines solchen zu sein, dafür danke ich Euch, liebe Anne und lieber Leo!

David A. Tobinski

Bottrop und Kleve im Frühjahr 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen und Überblick.....	1
2	Komplexität: einfache und komplexe Probleme	5
2.1	Das Problem	6
2.2	Einfache Probleme	9
2.2.1	Umfang des einfachen Problems	11
2.2.2	Einbettung des einfachen Problems	13
2.2.3	Zeit und einfache Probleme	14
2.3	Komplexität: komplexe Probleme	16
2.3.1	Anzahl der Variablen	18
2.3.2	Vernetztheit	19
2.3.3	Dynamik	20
3	Gedächtnis: Informationsverarbeitung in der kognitiven Architektur	23
3.1	Kognition	24
3.2	Information	26
3.2.1	Informationsverarbeitung – Grundlagen der Computemetapher	29
3.2.2	Informationsverarbeitung – Symbole	30
3.2.3	Informationsverarbeitung der höheren kognitiven Funktionen – Inferenzen	31
3.3	Architekturen der Kognition	33
3.3.1	MEKIV	34
3.3.2	ACT-R	36
3.3.3	Working Memory	40
4	Problemlösen: Problemlösendes Denken als Informationsverarbeitung	45
4.1	Situation	46
4.1.1	Situationstheorie und potenzielle Information	47
4.1.2	Intransparenz	47
4.1.3	Polytelie	48
4.2	Der Problemraum	50
4.2.1	Dimensionen von Information	50
4.2.2	Biologischer Code und kultureller Code im Problemraum	57
4.2.3	Neuer Code im Problemraum	59
4.3	Problemlösendes Denken – vom Problemraum zum Planungsraum	71
4.3.1	Die Selektion als Transformation	75
4.3.2	Von der Episode zu den Epistemen	86
4.4	Problemlösendes Denken in komplexen Systemen	102
5	Epilog	107
	Serviceteil	117
	Literatur	118
	Stichwortverzeichnis	123



Alles für die Lehre – fertig zum Download:
Foliensätze, Abbildungen und Tabellen
für Dozentinnen und Dozenten zum
Download

Zusammenfassungen der 5 Buchkapitel:
Das steckt drin im Lehrbuch

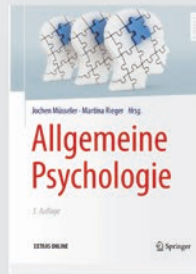
Web-Exkurs „Komplexität: einfache und
komplexe Probleme“

Web-Exkurs „Kognitive Architekturen“

Weitere Websites unter www.lehrbuch-psychologie.de



- Lernziele der 15 Buchkapitel
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Verständnisfragen und Antworten: Haben Sie alles verstanden?
- Dozentenmaterialien: Foliensätze, Abbildungen und Tabellen



- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Karteikarten: Überprüfen Sie Ihr Wissen
- Kapitelzusammenfassungen
- Leseprobe: Blick ins Buch
- Dozentenmaterialien: Foliensätze, ausgewählte Abbildungen und Tabellen



- Zusammenfassungen der Kapitel
- Glossar: Im Web nachschlagen
- Memocards: Überprüfen Sie Ihr Wissen
- Fragen & Antworten zur Prüfungsvorbereitung
- Dozentenmaterialien: Abbildungen und Tabellen



- Lernziele
- Verständnisfragen und -antworten
- Glossar mit über 400 Fachbegriffen
- Kapitelglossare
- Karteikarten



- Glossar: Alle Begriffe im Überblick, inkl. englischer Übersetzung
- Memocards: Fachbegriffe pauken
- Memocards deutsch-englisch
- Verständnisfragen: Üben Sie für die Prüfung
- Dozentenmaterialien: Abbildungen und Tabellen für die Lehre



- Tabellen statistischer Prüfgrößen, Datensätze und Skripte für das Statistikprogramm R
- Memocards und Verständnisfragen mit Antworten
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen und englischer Übersetzung
- Zusammenfassungen aller 18 Buchkapitel
- Dozentenmaterialien: Foliensätze, Abbildungen und Tabellen

Grundlagen und Überblick

Komplexität ist ein nahezu alltäglicher Begriff geworden. Im Zeitalter sich verändernder Klimaverhältnisse verstehen wir unser Wetter ebenso als ein komplexes System wie die globale Weltwirtschaft. Doch was verbirgt sich eigentlich genau dahinter? Bereits diese beiden ersten Beispiele verdeutlichen, dass sich Komplexität nicht nur auf natürlich gegebene Systeme wie das Klima bezieht, sondern ebenso auf vom Menschen geschaffene Systeme. Daraus ergibt es sich auch, dass sich die Psychologie, die sich im Spannungsfeld zwischen Geistes- und Naturwissenschaften bewegt, mit der Komplexität auseinandersetzt. Dies erfolgt hauptsächlich im Rahmen der Forschung zum sog. komplexen Problemlösen.

Problemlösen klingt aus einem alltäglichen Verständnis heraus zunächst nach der Beseitigung von etwas Negativem. Probleme gibt es im öffentlichen Leben: wie etwa Konflikte zwischen Staaten, bedrohliche Wetterlagen in Städten und ländlichen Regionen oder finanzielle Notlagen von ganzen Nationen. Probleme sind aber nicht immer von so großem Format und wir begegnen ihnen auch im Privatleben: wenn z. B. der Pkw-Motor nicht mehr funktioniert, ein Zahn zu schmerzen beginnt oder innerhalb einer Woche zu viele Termine an zu vielen Orten gleichzeitig zu koordinieren sind. Taucht der Begriff des Problemlösens im Rahmen der Psychologie auf, so zeigt sich gemeinhin eine Erwartungshaltung, dass sich dieser Bereich damit beschäftigt, wie sich zwischenmenschliche Konflikte und Probleme lösen lassen können, oder aber wie die Probleme einer affektiven Störung oder einer Lernstörung therapiert werden können. Hier werden wesentliche Bereiche der Psychologie angesprochen, und wir finden diese Themen in den Disziplinen der Sozialpsychologie und der klinischen Psychologie wieder. Anhand der eingangs genannten Beispiele deutet es sich bereits an, wie weit der Begriff des Problems gespannt ist und wie breit eine wissenschaftliche Perspektive auf das Problemlösen ausfallen kann.

Innerhalb der kognitiven Psychologie erscheint Problemlösen zunächst sehr abstrahiert von einem alltäglich-intuitiven Verständnis und lässt sich erst im Anschluss wieder an die genannten Beispiele koppeln. Denn in der Tat kann in empirischen Forschungszusammenhängen das Weltklima oder die globale Wirtschaft auch für die Psychologie eine Rolle spielen. Doch was wird in der kognitionswissenschaftlichen Forschung unter Problem und Problemlösen verstanden und was hat es hierbei mit der Komplexität auf sich (► [Kap. 2](#))?

Problemlösen ist für die kognitive Psychologie einer der Schlüssel zum Verständnis von Lernen und Wissen und der daraus resultierenden Interaktion des Individuums mit seiner Umwelt. All dies lässt sich aus der kognitionswissenschaftlichen Perspektive heraus als Informationsverarbeitung verstehen (► [Kap. 3](#)). Insofern gibt es in diesem Bereich auch Forschungsrichtungen, die sich nicht nur dem Menschen zuwenden. Hierzu gehören z. B. die Erforschung einer künstlichen Intelligenz im Bereich der Maschinen oder die unterschiedlichen Umweltinteraktionen von Individuen und Schwärmen im Tierreich. Die Umwelt wird in kognitionswissenschaftlichen Perspektiven als Lieferant von Information betrachtet und das jeweilige System als Verarbeiter dieser Information. Auch wenn der Begriff der Information aus unserem Alltag kaum noch wegzudenken wäre, was verbirgt sich eigentlich genau dahinter? Wir werden uns im Verlauf der nächsten Kapitel mehrfach mit diesem Konstrukt beschäftigen.

Aus den obigen Ausführungen wird deutlich, dass wir uns sowohl mit dem Individuum als aber auch mit seiner Umwelt auseinandersetzen müssen. Während Nachbarwissenschaften wie etwa die Neurophysiologie sämtliche Areale des menschlichen Gehirns in den Blick nimmt oder die Klimatologie sich rein auf den Gegenstand des Klimas konzentriert, sind Individuum und Umwelt für die Kognitionswissenschaften nicht einfach getrennt voneinander zu betrachten. Für die Kognitionswissenschaften ist gerade die Schnittstelle zwischen Umweltinformation und Individuum von zentralem Interesse, doch wo liegt diese gemeinsame Schnittstelle?

Aus einem alltäglichen Verständnis heraus erscheint uns das Gedächtnis zunächst als die Komponente, die uns dabei behilflich ist, sich eine wichtige Telefonnummer oder einen dringenden

Termin zu merken – sofern dies nicht ein Smartphone übernimmt. Vertiefen wir unsere Gedanken zum Gedächtnis, so zeigt sich, dass sich unsere vollständige Identität hieraus ableiten lässt. All die Lebensereignisse, die uns geprägt haben, die Episoden unseres eigenen Daseins liegen hierin behütet. Vertiefen wir unsere Perspektive auf das Gedächtnis noch weiter, so ergibt es sich auch, dass jeder einzelne Augenblick unseres Daseins hierin erscheint – auch der augenblickliche. Umwelt und Individuum sind im Gedächtnis vereint. Das Gedächtnis erscheint in dieser Perspektive als so umfangreich, dass es in Forschungszusammenhängen auch als kognitive Architektur bezeichnet wird. In der Mitte des Buches, werden wir uns der Frage zuwenden, wie einzelne Gedächtniskomponenten aufgebaut sind, aber auch wie ihre Interaktionen innerhalb der kognitiven Architektur betrachtet werden können.

Aus dem Kapitel zum Gedächtnis (► Kap. 3) wird sich anschließend ableiten lassen, wann wir überhaupt von einem Problem sprechen dürfen und wann es sich im wissenschaftlich strengen Sinne nicht mehr um ein solches handelt (► Kap. 4). Es wird uns möglich sein, den Prozess des Problemlösens in den Blick zu nehmen. Hierbei werden wir ergründen, wie Problemlösen in einer kognitiven Architektur stattfinden kann und dabei das Entstehen eines Raumes beobachten, der von Herbert Simon als Problemraum bezeichnet worden ist.

Die einzelnen Kapitel dieses Lehrbuches sind in der Form angelegt, dass zunächst der einfache Fall erläutert wird und Kontrastierungen angeboten werden. Soweit es möglich sein wird, werden die Umwelt, als „Informationslieferant“, und das menschliche Gedächtnis, als „Informationsverarbeiter“, zunächst getrennt voneinander betrachtet. Ebenso wie die Kapitel baut sich das gesamte Buch vom einfacheren Fall zum komplizierteren System hin auf. Dem Leser wird auffallen, dass die Kapitel also in ihrer Länge „anwachsen“.

Dieses Buch wird durch eine Website begleitet (<http://www.lehrbuch-psychologie.de>), die erste Schritte in die Praxis ermöglichen wird. Hier findet sich als Ergänzung zu ► Kap. 2 zur Komplexität eine Einführung in die computerbasierte Simulation von komplexen Systemen. Das Kapitel zum Gedächtnis (► Kap. 3) wird durch eine Einführung in die Computersoftware ACT-R erweitert. Das Akronym ACT-R steht für „Adaptive Control of Thought-Rational“. ACT-R zählt innerhalb der Forschung zur künstlichen Intelligenz zu den sog. Produktionssystemen. Hierbei ist es eines der ältesten und umfangreichsten Systeme in diesem Forschungsbereich. Das Kapitel wird uns den ersten Schritt in die Software ermöglichen.

Es stellt sich also zunächst die Frage, was ein Problem ist, bevor man dessen komplexe Variante betrachtet. Ebenso stellt sich die Frage, wovon sich Probleme im Alltag abgrenzen lassen und ob das überhaupt möglich ist – schließlich hat der Philosoph Karl Popper folgende Aussage geprägt: „Alles Leben ist Problemlösen“ (Popper, 2005). Um dieser These nachzugehen, sollen die folgenden Kapitel dem Leser das notwendige Rüstzeug an die Hand geben.

Komplexität: einfache und komplexe Probleme

- 2.1 Das Problem – 6
- 2.2 Einfache Probleme – 9
 - 2.2.1 Umfang des einfachen Problems – 11
 - 2.2.2 Einbettung des einfachen Problems – 13
 - 2.2.3 Zeit und einfache Probleme – 14
- 2.3 Komplexität: komplexe Probleme – 16
 - 2.3.1 Anzahl der Variablen – 18
 - 2.3.2 Vernetztheit – 19
 - 2.3.3 Dynamik – 20

Auch wenn die ersten Fragen dieses Kapitels zunächst von philosophischer Natur zu sein scheinen, so ist dies als Stilelement zu verstehen, um in die kognitionspsychologische Perspektive den Gegenstand des Problems einzuführen. Diese erste Perspektive auf den Gegenstand wird dem kognitionspsychologischen Paradigma folgen und somit von interner Symbolverarbeitung ausgehen, im nächsten Abschnitt werden ergänzend konnektionistische Modelle eingeführt. Nach unserer ersten Frage zur Ontologie des Problems sollen sich dessen Dimensionen im Laufe des Kapitels immer weiter entfalten, sodass wir einen Einblick erhalten in die Perspektiven und Fragen der Problemlöseforschung, die uns zum Begriff der Komplexität führen werden.

2.1 Das Problem

■ You wenti ma?

Eine Frage, die uns bestimmt schon einmal gestellt worden ist. Stellen wir uns folgende Situation vor: Eine Stewardess beobachtet einen Fluggast, wie er versucht, seinen Sicherheitsgurt vor dem Start des Flugzeuges anzulegen und dies ersichtlich nicht funktionieren will. Nun kommt sie zur Hilfe und stellt ihre Frage: „You wenti ma?“ Der Fluggast wird diese Frage bestimmt mit einem eindeutigen „Ja!“ oder „Yes!“ beantworten, auch wenn er des Chinesischen nicht mächtig ist. „Gibt es ein Problem?“ Können wir uns dieser Frage auch ontologisch nähern? Denn schließlich wussten in der eben geschilderten Situation beide Kommunikationspartner um den Gegenstand ihrer Kommunikation. Ohne tiefer in die theoretische Philosophie einzutauchen, macht es Sinn, diese Seinsfrage nach der Entität des Problems zu stellen. Denn die Antwort auf diese Frage wird uns zunächst paradox erscheinen, sie lautet nämlich „Ja“ und „Nein“. Um uns diesen Antworten zu nähern, stellen wir die einfache Frage nach dem Sein eines Bergkristalls. Hier lautet die Antwort schon seit Aristoteles eindeutig „Ja!“. Er würde sie über seine Sicht, den Hylemorphismus, damit begründen, dass der Diamant eine Materie (griech.: hyle) und eine Form (griech.: morphe) besitzt. Auch wir können an dieser Stelle die Frage nach dem Kristall positiv beantworten. Aber wie sieht es mit einem Problem aus? Wir vermuten, dass es durch Form und Hülle repräsentiert wird, aber wirklich fassen, wie die Materie Kristall, lässt es sich nicht. Dennoch scheinen wir eine Vorstellung von dem zu haben, was ein Problem ist oder sein kann, da es im Rahmen unserer menschlichen Erkenntnis liegt; es führt uns somit über die Ontologie zur Epistemologie. Dies ist für uns der erste wichtige Schritt der Annäherung an das menschliche Problemlösen, denn ohne einen lebendigen Organismus oder ein kognitives System scheint es kein Problem zu geben. Auch wenn wir nun die Frage stellen, ob denn der uns bevorstehende, wahrscheinlich anthropogen verursachte, Klimawandel kein Problem darstellen würde? Dieser sei schließlich eindeutig mit Werten zur steigenden Temperatur, Windstärke und zum steigenden Meeresspiegel in Form und Materie belegbar, mit Werten zum FCKW- und CO₂-Gehalt der Atmosphäre sogar schon auf mögliche Problemursachen erforscht (Schäfer, 1999). Dennoch, die Temperatur, die Windstärke und der Meeresspiegel sind bestimmte Formen der Materie und zusammen bilden sie einen gegebenen Zustand, eine Situation, mehr noch nicht. Warum aber meinen wir, hier bereits ein Problem zu sehen? Und in der Frage scheint auch schon die Antwort verborgen, „wir“ sehen das Problem.

Definition

Zu einem Problem gehört immer ein „gewünschter Zustand“ (Hussy, 1984) und somit entsteht das Problem erst in einer gegebenen Situation mit einer bestimmten Zielsetzung eines Organismus oder eines kognitiven Systems (Miller, Galanter & Pribram, 1960; Favre-Bulle, 2001; Fritz & Funke 1995; Funke 2003). Voraussetzung ist es, dass die gegebene

Situation (S_a) nicht der gewünschten Situation (S_w) entspricht und eine Überführung (Transformation) im Moment durch eine Barriere verhindert wird (Dörner, 1979; Klix, 1971; Lüer & Spada, 1990; Süllwold, 1969).

■ Aufgaben

Noch liegt das Problem wie ein Gordischer Knoten vor unserem geistigen Auge. Um eine erste Abgrenzung aus der vorgelegten Definition ziehen zu können, ist es nun möglich, einen Unterschied zwischen einem Problem und einer Aufgabe zu konstruieren. So teilt sich die Aufgabe mit dem Problem die gegebene Situation (Ist-Zustand) und die gewünschte Situation (Soll-Zustand), die Barriere ist allerdings in der Aufgabe nicht vorhanden. Aufgaben werden als geistige Anforderungen verstanden, für deren Bewältigung die notwendigen Methoden (eine Reihe bekannter Operationen) vorliegen. Die Aufgabe erfordert ein rein reproduktives Denken, während beim Problemlösen scheinbar etwas Neues geschaffen werden muss (Dörner, 1979). Wir vermögen schon hier zwischen aufgabenlösendem (Graumann, 1969) und problemlösendem Denken (Funke, 2003; Hussy, 1984, 1998) zu unterscheiden; diese Prozesse werden wir in ► Kap. 4 in den Fokus rücken. Es ergibt sich, dass auch eine schwierige Aufgabe nicht als Problem zu bezeichnen ist, Aufgaben haben wie Probleme ihre eigene Schwierigkeit. Ob es sich um eine Aufgabe oder ein Problem handelt, ist nur aus einer Perspektive zu beantworten, aus der Perspektive des Individuums auf die jeweilige Situation.

Ein Beispiel für eine Aufgabe: Möchte eine Person die Zimmertemperatur ihres Arbeitszimmers im Winter konstant halten, müsste sie aufgrund der negativen Entropie nach einiger Zeit ihre Heizung regelmäßig bedienen, um dem Raum Energie in Form von Wärme zuzuführen und somit die Temperatur einigermaßen in einem bestimmten Temperaturbereich (Soll-Zustand) zu halten. Durch das Fühlen der Temperatur kann der Ist-Zustand permanent gemessen werden, fällt dieser unter den Soll-Zustand, kann er über das Bedienen der Heizung wieder in den gewünschten Ist-Zustand transformiert werden. Diese Aufgabe kann die Person mittlerweile an einen Temperaturregler, eine einfache Maschine, übergeben. Wir werden auf dieses Beispiel später noch einmal zurückkommen.

Anhand der bisherigen Aussagen schließen sich allerdings viele weitere Fragen an. Was haben wir unter einer Situation und einem Moment zu verstehen? Gibt es die eine bestimmte Qualität der Barriere oder sind es unterschiedliche Qualitäten? Was steckt hinter einer Transformation? Welches kognitive System ist zu einer Überführung befähigt? Unser Gefühl sagt uns noch immer, dass es unterschiedliche Probleme geben muss, es drängt uns nach einer Taxonomie. Es ist doch etwas anderes, wenn ich aktuell Durst verspüre, mein Schuh geschnürt werden muss, das Vorderrad meines Fahrrades keine Luft enthält, der Ticketschalter der Bahn AG kein Ticket herausgeben möchte oder eine große Bevölkerungswanderung aufgrund von weiteren Klimakatastrophen zu erwarten ist? Wo verbirgt sich das, was wir später als Komplexität bezeichnen werden und sich hier zumindest als „gefühlte“ Schwierigkeit äußert? Es scheinen, als seien verschiedene Merkmale von Problemen in mindestens zwei unterschiedlichen Systemen vorhanden: in der Person und in der Situation.

■ Klassifikation von Problemen

In der Literatur findet sich eine Menge unterschiedlicher Klassifikationssysteme von Problemen, die Suche nach relevanten Dimensionen besitzt mittlerweile eine lange Forschungstradition (Funke, 2003). Taxonomien von Problemen sind für die Problemlöseforschung ein wichtiges Hilfsmittel (Knoblich, 2002), um ein systematisches Experimentieren, wie es von Hussy

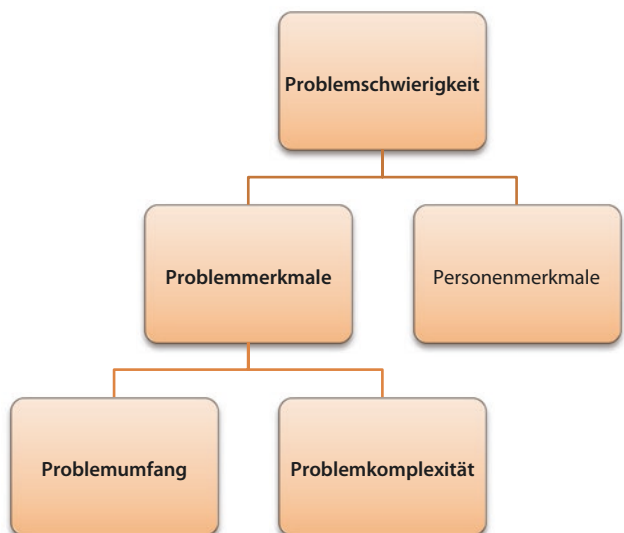
für die Erforschung des Problemlösens gefordert wird, zu ermöglichen (Hussy, 1985). Auf der höchsten Ebene begegnen uns heute in der wissenschaftlichen Diskussion „einfache Probleme“ und „komplexe Probleme“ (Funke, 2003; Hussy 1998; Sternberg & Frensch, 1991; Öllinger & Knoblich, 2006), die auch als „isolierte“ Probleme und „Systemprobleme“ (Dörner et al., 1983, S. 17) bezeichnet werden können. Auf der Ebene des Problemlösens lesen wir hierzu analog vom „analytischen Problemlösen“ und „dynamischen Problemlösen“ (Hartig & Klieme, 2005, S. 92; Klieme, Leutner & Wirth, 2005). Die Begriffe „einfach“ und „komplex“ suggerieren zunächst den Eindruck verschiedener Schwierigkeitsstufen, dies ist allerdings nicht damit gemeint. Einfache Probleme sind also nicht als Probleme zu verstehen, die leicht zu lösen wären. Die Bezeichnung „einfach“ wurde gewählt, um diese Probleme von den „komplexen Problemen“ abgegrenzt betrachten zu können (Öllinger & Knoblich, 2006), es wird hier von verschiedenen Qualitäten der Probleme ausgegangen. Der Begriff der Problemschwierigkeit wird uns in diesen Überlegungen weiterführen.

■ Determinanten der Problemschwierigkeit

Personen lösen das gleiche Problem nicht immer in einheitlicher Güte, es können interpersonelle Differenzen vorliegen. Zudem scheinen intraindividuelle Differenzen möglich zu sein, sodass die Problemlösegröße einer Person von der Tageskondition abhängig sein kann (Dörner, 1989; Hussy, 1984; Schoppek & Putz-Osterloh, 2003). Was also macht ein Problem schwierig? Und wieso können Probleme unterschiedlich schwer sein? Dies scheint nicht nur an den inter- oder intrapersonellen Unterschieden zu liegen. Reden wir von „Determinanten der Problemschwierigkeit“ (Hussy, 1984, S. 124), so sind hiermit nach Hussy (1984) auf der obersten Ebene die Merkmale des Problems von den Merkmalen der Person unterscheidbar (■ Abb. 2.1). Funke (1990, 2003) unterscheidet in diesem Zusammenhang ebenfalls Personenmerkmale, unterteilt dann gleichrangig Situations- und Aufgabenmerkmale; wir werden dies in ► Abschn. 4.1 vertiefen.

Wir werden in diesem Kapitel versuchen, uns zunächst auf die Merkmale des Problems zu konzentrieren, um in ► Kap. 3 die Merkmale der Person in den Fokus zu rücken. Erst in ► Kap. 4 zum problemlösenden Denken, werden wir diese beiden Determinanten gemeinsam betrachten.

■ Abb. 2.1 Ausgesuchter Bereich der Rahmenkonzeption zum Begriff der Problemschwierigkeit nach Hussy (1984)



■ Modelle

Um diesen ersten Schritt vornehmen zu können, ist es für uns wichtig, die Position eines „unabhängigen“ Beobachters einzunehmen. Auf Piaget (1973) geht der Forschungsgegenstand der „genetischen Epistemologie“ zurück; er analysierte die Entstehung des Weltbildes bei Kindern. Hierzu ist es nötig, nicht nur den Gegenstand zu beobachten (Beobachtung 1. Ordnung), sondern die „Beobachtung der Beobachtung“ (Beobachtung 2. Ordnung) mit in den Fokus der Untersuchung zu rücken (Simon, 2007, S. 42). Daher ist es für unsere folgenden Darstellungen notwendig, vier verschiedene Typen von Modellen einzuführen. Wird ein Gegenstand formal mathematisch oder physikalisch beschrieben, so sprechen wir hier von einem objektiven Modell (OM). Wird dieser Gegenstand in einer Person abgebildet, so bezeichnen wir dies als mentales Modell (MM), später wird uns noch das Design- und Instruktionsmodell (DIM) als Schnittstelle zwischen dem Gegenstand, dem OM und dem MM begegnen (Kluwe & Haider, 1990). Die spezifische psychologische Sichtweise auf diese Modelle, wird als psychologisches Modell (PM) verstanden. So können sich verschiedene Konfigurationen ergeben, z. B. PM(MM) oder PM(DIM). In diesem Kapitel werden wir uns auf die Konfiguration PM(OM) einstellen.

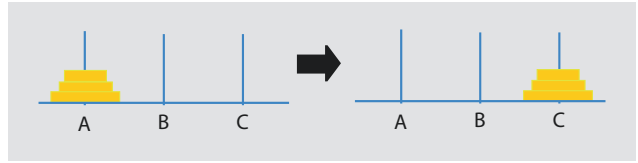
2.2 Einfache Probleme

■ Einfaches Problem

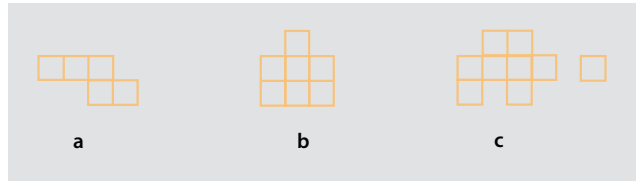
Eine frühe und noch immer bedeutende Einteilung geht auf McCarthy (1956) zurück, der den Begriff der „well-defined intellectual problems“ (McCarthy, 1956, S. 177) einführte. Während die „well-defined problems“ als das angesehen werden können, was wir bereits oben unter einer ersten Problemdefinition beschrieben haben, kann es Situationen geben, in denen der Ausgangs- oder Zielzustand nicht klar definiert ist. Es kam zur Unterscheidung von „well-defined“ und „ill-defined problems“. Von Dörner (1979) kam der Vorschlag, diese dichotome Einteilung durch eine Skala von „geschlossen“ bis „offen“ zu ersetzen, wobei die Eigenschaften des Endzustandes nun in drei Kategorien eingeteilt werden konnten: „muß vorhanden sein“, „darf nicht vorhanden sein“ und „gleichgültig“ (Dörner, 1979, S. 14). Erst bei der Hinwendung zur Komplexität kam zu „gleichgültig“ der „offene“ Aspekt hinzu (Dörner et al., 1983). Zunächst leitet Dörner die unterschiedlichen Grade der Start- und Zielkriterien ab. Bei einem niedrigen Grad spricht er von einer „dialektischen Barriere“; hierbei muss eine dialektische Prozedur zur Zielsetzung verwendet werden. Die Eigenschaften eines eindeutigen Ziels wurden schon von Ach (1905) als Determinante des Denkens betrachtet. Ist das Ziel bekannt, aber die Person kennt die Mittel nicht, so spricht Dörner von einer „Synthesebarriere“. Der höchste Zustand beider Dimensionen wird als „Interpolationsbarriere“ bezeichnet, die Mittel und Ziele sind klar vorhanden. „Es soll noch angemerkt werden, daß der Barrieretyp nicht unabhängig vom Problemlöser ist.“ (Dörner, 1979, S. 14). Funke (2003) betont, dass zum Lösen einfacher Probleme geringes Vorwissen notwendig ist, das ebenfalls in der problemlösenden Person liegt. Noch führen uns diese Klassifikationen vor Augen, wie schwierig es sich zu gestalten scheint, Problemmerkmale zunächst möglichst getrennt von Personenmerkmalen zu betrachten. Betrachten wir die Taxonomie nach Hussy (1984) weiter, so wird auf der nächsten Ebene der Problemmerkmale zwischen Problemumfang und Problemkomplexität unterschieden. Einfache Probleme scheinen also zunächst in ihrem Umfang voneinander unterscheidbar zu sein. Betrachten wir hierzu drei Beispiele eines einfachen Problems.

Turm von Hanoi Das wohl meistzitierte Paradigma zur Erforschung des einfachen Problemlösens wird als Turm von Hanoi (Tower of Hanoi; TOH; ■ Abb. 2.2) bezeichnet (Anderson, 1983;

■ **Abb. 2.2** „Turm-von-Hanoi-Problem“ mit Anfangs- und Zielzustand



■ **Abb. 2.3** Drei Konfigurationen (a, b, c) des Streichholzproblems nach Katona



Funke, 2003, 2006; Hussy, 1984; Klix & Rautenstrauch-Goede, 1967; Lämmel & Cleve, 2001; Russell & Norvig, 2004).

Das Problem geht wahrscheinlich auf den Mathematiker Edouard Lucas (1883) zurück und ist in die Geschichte eingebettet, dass in einem Kloster im indischen Benares 64 goldene, unterschiedlich große Scheiben nach einer bestimmten Regel von einem Ausgangsstab auf einen Zielstab versetzt werden müssen. Es kann immer nur eine Scheibe bewegt werden, eine größere Scheibe darf auf keiner kleineren Scheibe liegen, hierzu gibt es einen Hilfsstab, der Turm soll nun mit möglichst wenigen Zügen bewegt werden. Dieses Problem umfasst klare Regeln und klare Zustände, die notwendigen Operatoren sind bekannt, es wäre somit nach Dörner (1979) als Interpolationsproblem zu bezeichnen. In der Forschung umfasst das kleinste Szenario drei Scheiben, alle möglichen Konfigurationen der Scheiben (Gl. 2.1) und die optimale Anzahl der Bewegungen (Gl. 2.2) sind mit folgenden Formeln zu berechnen:

$$\text{mögliche Konfigurationen} = 3^n \quad \text{Gl. 2.1}$$

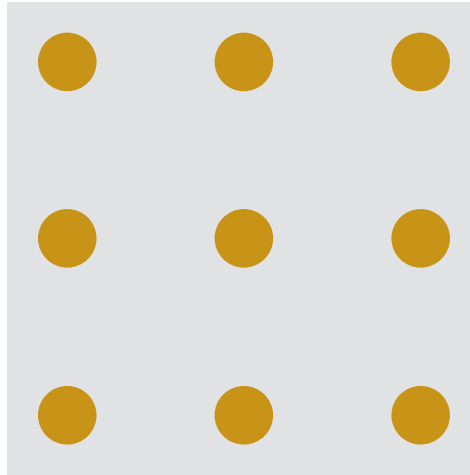
$$\text{optimale Bewegungen} = 2^n - 1 \quad \text{Gl. 2.2}$$

Bei drei Scheiben lassen sich alle möglichen Konfigurationen noch bequem grafisch in einem Problemraum abbilden und der Problemlöseprozess des Problemlösers wäre hierin als Trajektorie beschreibbar. Wir können uns vorstellen, wie schwierig sich dies mit jeder weiteren Scheibe gestalten wird.

Streichholzproblem Von fast gleicher Berühmtheit sind die Streichholzprobleme von Katona, die 1940 von Katona (1940) in die denkpsychologische Forschung eingeführt worden sind (Fillbrandt, 1987). Die Problemstellung gestaltet sich wie folgt (■ Abb. 2.3): Es werden Figuren aus fünf oder mehr gleich großen Quadraten gelegt, hierzu wurden traditionell und rein pragmatisch Streichhölzer verwendet. Es müssen nun zwei Hölzchen so umgelegt werden, dass die neue Figur aus allen Hölzchen der gegebenen Figur (Ist-Zustand) besteht, die Quadrate in ihrer Größe erhalten bleiben (Soll-Zustand), die Figur aber trotzdem ein Quadrat weniger besitzt (Soll-Zustand).

Neun-Punkte-Problem Die Problemstellung besteht darin, dass neun gegebene Punkte durch gerade Linien in nur einem Zug verbunden werden sollen (■ Abb. 2.4). Eine Lösung wurde zu

■ **Abb. 2.4** Ausgangssituation des „Neun-Punkte-Problems“



Zeiten der gestaltpsychologischen Schule um Köhler, Wertheimer oder Duncker noch als Folge eines „Aha-Erlebnisses“ (Funke, 2003) bezeichnet; wir werden später darauf zurückkommen, wie es 1971 von Klix betrachtet worden ist. Auch hier sehen wir, dass der Endzustand ebenso unscharf bzw. nahezu unsichtlich ist, wie beim Streichholzproblem.

■ Vergleich der Problemstellungen und Eigenschaften

Der Turm von Hanoi bildet vor uns den Ausgangs- und den Zielzustand ab, auch die Operatoren sind klar beschrieben. Wir würden dieses Problem eindeutig als „well-defined“ bezeichnen. Im Streichholzproblem ist der Ausgangszustand ebenfalls klar beschrieben, auch die Operatoren sind eindeutig beschrieben. Wie diese allerdings anzuwenden sind, um den Zielzustand zu erreichen, bleibt unbekannt, dies wäre als „ill-defined“ zu bezeichnen. Gleiches gilt für das Neun-Punkte-Problem. Wir werden nun versuchen, die Gemeinsamkeiten der Problemmerkmale, stellvertretend für das Spektrum einfacher Probleme, herauszuarbeiten. Die von Dörner herangezogene Klarheit der Operatoren und Ziele ist in der Person zu sehen und nicht in den Merkmalen des Problems (ausführlich dazu ► [Kap. 3](#)). Wir greifen nun den von Hussy (1984) genannten Umfang des Problems (PU) als erstes Kriterium auf.

2.2.1 Umfang des einfachen Problems

■ Form

Die von Dörner genutzte Bezeichnung „isolierte Probleme“ (Dörner et al., 1983, S. 17) für einfache Probleme verdeutlicht, dass es sich bei einfachen Problemen um einen klar umschriebenen, diskreten Umfang eines Problems handeln muss. Hussy (1984) führt hierzu den Informationsgehalt I auf und berechnet den Zusammenhang zwischen dem Umfang an Lösungsalternativen und der Problemschwierigkeit. Betrachten wir zunächst nicht die Lösungsalternativen, so bieten uns die betrachteten Probleme einen ersten gemeinsamen Nenner, der eine Quantifizierung zulässt und mit dem Informationsbegriff unmittelbar verbunden ist: die Form. Wir sehen anhand unserer Beispiele, dass schon wenige Formen (Weizsäcker, 1974) ausreichen, um ein Problem zu konstruieren. Das Streichholzproblem bietet die wenigsten Formen an; es besteht lediglich aus der Form der Linie. Das Neun-Punkte-Problem ergibt sich aus der Form der Linie

■ **Abb. 2.5** Zu sehen ist die Markierung nach G. Spencer-Brown; dieses Symbol stellt einen Unterschied zwischen seiner Innen- und Außenseite dar



und der Form des Punktes. Der Turm von Hanoi bietet uns Linien, die semantische Verarbeitung der Relationen durch die Person erzeugt anschließend hieraus die Stäbchen, und weitere Linien in der Form von Rechtecken, semantisch als Scheiben in unterschiedlicher Größe interpretierbar. Wir können nun versuchen, eine erste Quantifizierung vorzunehmen, indem wir die relevanten Formen des Problems als Element (E) bezeichnen. Später können wir auch vom Signal sprechen und somit auf eine Elementzahl (EZ) kommen. Wichtig ist, dass wir einen Auflösungsgrad unterscheiden. Ein Auflösungsgrad von 0 würde lediglich „etwas“ von „nichts“ unterscheiden, was im Alltag durchaus vorkommen kann (Dörner, 1979, S. 18f.). „Draw a distinction“ (Spencer-Brown, 1969, S. 3) lautet es in diesem Zusammenhang bei Spencer-Brown und hierzu führt er eine Notation ein, die auf einem einzigen Symbol basiert, der Markierung (Kauffman, 2002; ■ Abb. 2.5):

Wir werden uns immer mit einem Auflösungsgrad >0 beschäftigen; dieser muss festgelegt werden, um die relevanten Elemente zu bestimmen. Unser Problemumfang würde somit aus einer bestimmten Menge von Elementen bestehen (Gl. 2.3):

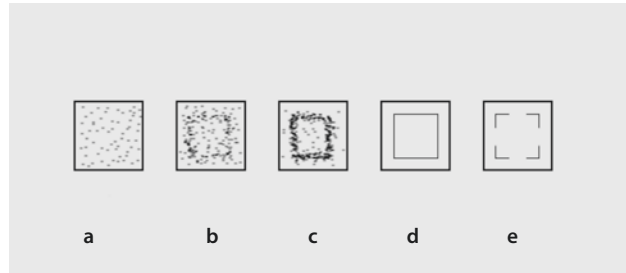
$$PU = \{EZ\}$$

Gl. 2.3

■ Relationen

Unsere Beispiele zeigen, dass die Formen in bestimmten Relationen zueinander stehen, diese Relationen können mittelbar oder unmittelbar mit dem Problem verbunden sein. Auch die Relationen lassen sich quantifizieren. Die neun Punkte weisen in sich keine Relation auf, sind für dieses Problem allerdings in Form eines Quadrates durch gleiche Abstände und räumliche Verteilungen abgebildet; sie bilden hierdurch eine übergeordnete Raumrelation in der Form Quadrat. Die Streichhölzer bilden ebenfalls die übergeordnete Form Quadrat ab. Nach Klix (1971) liegen diese beiden Formen allerdings in unterschiedlichen Raumstrukturen vor. Während die Streichhölzer als deterministische zweidimensionale Raumstruktur (kausale Beziehung) zu bezeichnen sind,

■ **Abb. 2.6** Die ersten drei zweidimensionalen Raumstrukturen (a–c) sind stochastisch, die beiden letzten Raumstrukturen (d, e) deterministisch. (Nach Klix, 1971)



bilden die Punkte eine stochastische zweidimensionale Raumstruktur (Wahrscheinlichkeitsbeziehung) ab (Dörner et al., 1983; Klix, 1971; ■ Abb. 2.6).

Gerade das Streichholzproblem führt uns die faszinierende Eigenschaft von Relationen auf: die gesamte Summe der Form Linie, verkörpert durch die Materie der Streichhölzer, soll erhalten bleiben, die Summe der Quadrate soll hingegen reduziert werden. Erst wenn wir erkennen, dass ein Quadrat in der Abgrenzung zu seiner Umgebung vier Streichhölzer benötigt, zwei Quadrate hingegen sieben und drei Quadrate zehn, wird der Unterschied zwischen Form, Relation und Quantität klar (Fillbrandt, 1987). Die Abstraktionsstufe „Quadrat“ aus den vier Formen der Linie, muss als Abstraktionsleistung der Person zugesprochen werden. Zudem zeigt uns die Abbildung nach Klix (1971), dass Form und Relation je nach Auflösungsgrad ineinander überführbar werden. Die einfachste Form einer Beziehung wäre somit als binäre Beziehung zu bezeichnen, ein höherer Abstraktionsgrad würde ternäre oder quaternäre Beziehungen hervorbringen, bis hin zu Beziehungen zwischen Beziehungen (Dörner et al., 1983), diese werden für uns später im Zusammenhang von Analogien und problemisomorphen Szenarien von Bedeutung sein. Ein zuvor festgesetzter Auflösungsgrad der Elemente bestimmt dadurch auch zunächst die Wahl des Auflösungsgrades der Relationen der Elemente. Wir erkennen aus unserer aktuellen Position, dass Problemmerkmale dem Problemlöser unterschiedliche Mengen an Formen und unterschiedliche Mengen an Relationen anbieten bzw. das Potenzial zur Relationserkenntnis innehaben. Das Relationspotenzial lässt sich umgekehrt proportional zur Wahrscheinlichkeitsbeziehung der Elemente betrachten, deterministische Strukturen liefern somit die niedrigste Relationspotenzialzahl (RPZ), dafür allerdings eine scharf erfassbare. Der Turm von Hanoi funktioniert über die Relationen „Größe der Scheibe“ und „Ort der Scheibe“, der Zustand „Scheibe nicht unter größerer Scheibe“ wirkt determinierend. Das potenzielle Angebot wird durch diese determinierende Regel verringert, ein wichtiger Aspekt für den späteren Prozess des Problemlösens. Wir sehen, dass bestimmte Relationen vorgegeben werden, weitere Relationen müssten vom Problemlöser „produziert“ werden. Wir werden in ► Kap. 4 hierzu mehr erfahren. Unsere Menge ergibt sich nun folgendermaßen (Gl. 2.4):

$$PU = \{EZ, RPZ\}$$

Gl. 2.4

2.2.2 Einbettung des einfachen Problems

■ Medium

Wir können nicht über Formen reden, wenn wir nicht auch über Medien reden. Was verstehen wir hier unter einem Medium? Auf der abstraktesten Ebene verstehen wir unter einem Medium einen lose gekoppelten Zusammenhang von Elementen. Die Form ist eine Koppelung dieser

2 Elemente, unter der das Medium, zumindest vorerst, keinen Widerstand leistet. Man stelle sich lieber nicht vor, die Schallwellen unserer Stimme würden im Medium der Luft erhalten bleiben. Bei DVDs, die unsere Urlaubsfotos speichern, wünschen wir uns hingegen lange Erhaltungszeiten. Kopplung ist somit Formbildung (Dieckmann, 2006). Wir betrachten nun, in welchen Medien uns einfache Probleme begegnen. Es ist nicht trivial, zu erkennen, dass einfache Probleme mittels sog. Papier und Bleistift-Verfahren (Leutner, Wirth, Klieme & Funke, 2005, S. 21) vorgelegt werden können. Zusätzlich ist es besonders zu betonen, dass die Erforschung des Umganges mit komplexen Problemen erst durch die Einführung eines neuen Mediums ermöglicht worden ist: dem Computer (Funke 2003; Strunk & Schiepek, 2006). Doch was ist der Unterschied zwischen diesen beiden Medien, die scheinbar den Unterschied in der Technologie ausmachen, in der das menschliche Problemlösen untersucht werden kann und somit auch den Unterschied zwischen einfachen und komplexen Problemen markiert?

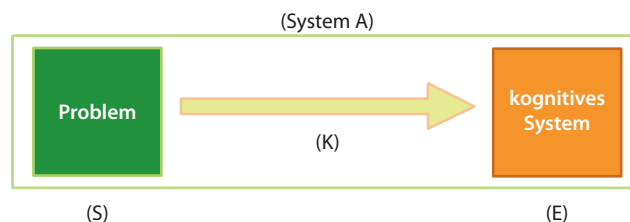
2.2.3 Zeit und einfache Probleme

■ System

Wir müssen an dieser Stelle den Begriff des Systems vertiefen, da dieser einen wichtigen Übergang zwischen einfachen und komplexen Problemen markiert und damit als diskreter Indikator gelten kann. Der Systembegriff ist uns bereits in ► Abschn. 2.1 begegnet, wo wir erfahren haben, dass kognitive Systeme Probleme lösen können. Doch was verstehen wir unter einem System? Wir folgen hier der Annahme, dass Systeme aus Elementen bestehen, die

- für sich genommen als abgeschlossene Einheiten interpretiert werden können und
- untereinander in Wechselbeziehungen stehen (Hussy, 1984, S. 37; Strunk & Schiepek, 2006).

Eine solche Sichtweise geht schon 1947 auf den Begründer der generellen Systemtheorie Ludwig von Bertalanffy (1984, ¹1947) zurück und ist nach wie vor in allen Disziplinen von Gültigkeit (Stoica-Klüver et al., 2009). Wir erkennen, dass unsere einfachen Probleme aus abgeschlossenen Einheiten bestehen, wie z. B. Kreise, Linien oder Scheiben. Wichtig ist, dass wir keine Wechselwirkung feststellen, zumindest solange, wie keine Person (oder kognitives System) involviert ist. Jedes Wirkgefüge kann allerdings schon als System betrachtet werden, somit bildet der Beobachter, der das Neun-Punkte-Problem lediglich betrachtet, zusammen mit diesem Problem ein Wirkgefüge, ein System. Nehmen wir den Problemlöser bzw. Beobachter aus dieser Situation heraus, so bildet ein einfaches Problem kein System, sondern allenfalls eine räumliche Struktur (Klix & Krause, 1969; Ebeling, 1976; Ebeling, Freund & Schweitzer, 1998; ■ Abb. 2.7).



■ **Abb. 2.7** Ähnlich dem klassischen Kanallmodell der Nachrichtentechnik bildet das Problem (S) den Sender von Signalen, die vom kognitiven System als Empfänger (E) verarbeitet werden. Wichtig ist, dass zwischen S und E eine Information stattfindet. Zusammen bilden nun S und E das System A. Der Kanal (K) der Signalübertragung spielt hierbei eine redundante Rolle

Das Problem kann nun als passiver Sender von Signalen aufgefasst werden, erst durch die Informationsverarbeitung über das kognitive System wird aus dieser Situation das System A. Erst jetzt dürfen wir für unser Problem folgende Funktion verwenden (Gl. 2.5):

$$PU = f(EZ, RPZ)$$

Gl. 2.5

Man könnte auch sagen, das kognitive System erweitert sich durch S zum System A. Was bedeutet nun Wechselwirkung?

■ Passive Elemente

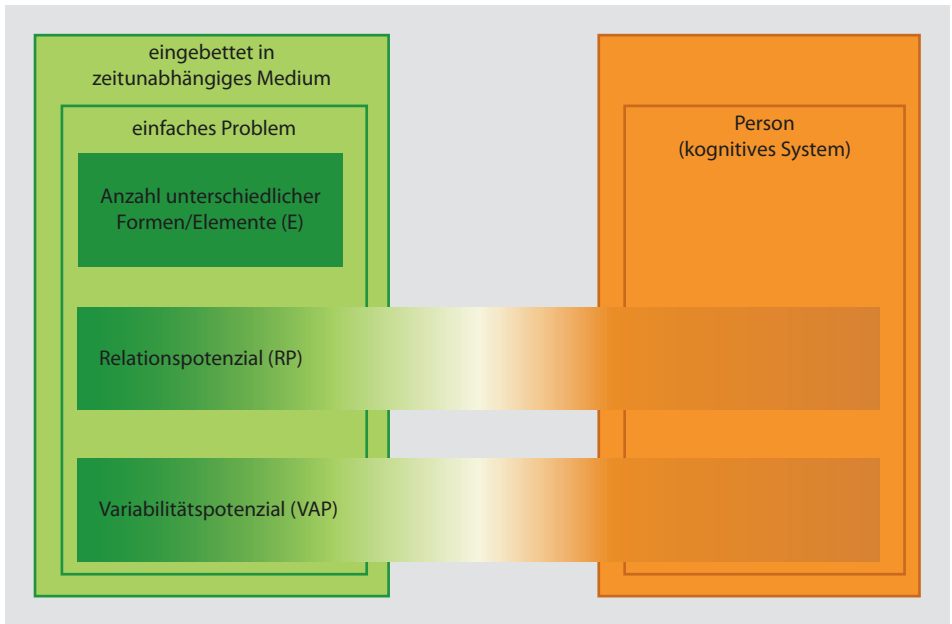
Wir stellen fest, dass sich die Elemente des Turm-von-Hanoi-Problems ohne einen Problemlöser nicht verändern, auch die Streichhölzer bewegen sich nicht. Das kognitive System empfängt scheinbar lediglich konstante Signale vom Sender (Problem). Erst das kognitive System verändert die passiven Elemente des Problems in aktive Elemente, indem es diese zu einer Lösung hin bewegt. Funke spricht in diesem Zusammenhang von „exogenen Variablen“ (Funke, 1990, S. 147). Ein passives, exogenes Element verändert sich über ein Zeitintervall Δt ohne Einfluss aktiver Elemente nicht, es bleibt zu jedem Zeitpunkt t konstant bzw. statisch (Dörner et al., 1983, S. 27). Man könnte auch sagen, dass das Problem aufgrund der fehlenden Wechselbeziehungen der eigenen Elemente über einen unbestimmten Zeitraum als zeitungebunden anzusehen ist, Funke spricht vom „zeitinvarianten System“ (Funke, 1990, S. 144). Es erscheint, das einfache Problem entziehe sich der Dimension Zeit, es ist statisch. Veränderungen finden lediglich durch fremde Einwirkungen statt, durch Fremdtransformationen. Somit wären einfache Probleme in zeitunabhängigen (diskreten) Medien zu finden. Es lässt sich vermuten, dass komplexe Probleme dort nicht anzutreffen sein werden (Kerres, 1997; Steinmetz, 1999).

■ Stabile und variable Elemente

Die Elemente eines einfachen Problems sind passiv, können aber unterschiedlich stabil und variabel bzgl. der Dimensionen Raum und Zeit sein. Dörner spricht in diesem Zusammenhang vom „Realitätsbereich B“ (Dörner, 1979, S. 16), wobei er die Operatoren des Problemlösers hinzurechnet, die wir in ► Kap. 3 genauer betrachten werden. So sind die Stäbe beim Turm-von-Hanoi-Problem als stabil in ihrer relativen Lage zueinander anzusehen. Die Platten sind hingegen sehr variabel. Für die Platten liegen zwei Raumdimensionen vor; diese enthalten die Parameter „links, mittig, rechts“ und „oben, mittig, unten“. Während diese Parameter beim Turm von Hanoi noch überschaubar wirken, scheint die Variabilität des Raumes beim Streichholzproblem höher zu sein. Die Streichhölzer werden ebenfalls durch zwei Raumdimensionen in ihrer Orientierung determiniert; diese erhält die dichotomen Parameter „horizontal“ und „vertikal“. Die Variable „Lage“ weist hingegen wesentlich mehr Parameter auf. Dies sind ebenfalls Eigenschaften, die nicht rein losgelöst vom Problemlöser zu betrachten sind. Wir möchten daher von der Variabilitätspotenzialzahl (VAPZ) sprechen (Klieme, 1989, S. 98f.), um diese Eigenschaft zunächst rein theoretisch von den Operationen der Person zu entkoppeln. Die Transparenz bzgl. der möglichen Raumparameter ist bei einfachen Problemen maximal, für den Problemlöser liegt die Barriere in der Spezifikation und Sequenzierung. Unsere Funktion erweitert sich um die VAPZ (Gl. 2.6):

$$PU = f(EZ, RPZ, VAPZ)$$

Gl. 2.6



■ **Abb. 2.8** Person und einfaches Problem. Zu erkennen ist, dass sich das *einfache Problem* lediglich über die Anzahl der *unterschiedlichen Formen/Elemente (EZ)* klar von der Person abtrennen lässt, in Hinsicht auf die Relationen und die Variabilität ist das einfache Problem scheinbar schon von Eigenschaften der Person abhängig. Diese Eigenschaften können als „Angebot“ an die Person verstanden werden: eine „Grundkonfiguration“

■ Artifizell und natürliche Probleme

Wir können ganz Hussy (1984) folgen, indem wir erkennen, dass ein einfaches Problem nicht unabhängig von einer Person zu betrachten ist. Noch deutlicher wird es, wenn wir erkennen, dass einfache Probleme immer einen artifiziiellen Ursprung haben und kein natürliches Pendant vorweisen können (Funke, 2003). Einfache Probleme scheinen als menschengeschaffene Produkte (Artefakte) klassifizierbar zu sein (■ Abb. 2.8). In anderen menschlichen Produkten, wie etwa einem Mobiltelefon oder einem Kohlekraftwerk, können sich darüber hinaus komplexe Probleme ergeben. Einfache Probleme scheinen hingegen als „natürliche“ Probleme nicht vorzukommen, dies bleibt den komplexen Problemen vorbehalten, denen wir uns im Folgenden widmen wollen.

2.3 Komplexität: komplexe Probleme

Der Begriff der Komplexität begegnet uns in nahezu allen Wissenschaften und man scheint sich einig zu sein, dass die Wahrnehmung der Welt in ihrer Komplexität ansteigt. Doch was steckt hinter dem Phänomen der Komplexität? Der lateinische Ursprung „Complexio“ wäre als Verbindung, Verknüpfung, Dilemma oder „Complexus“ als Umfassung, Umschlingung oder Umarmung zu übersetzen. Anfang der 1970er-Jahre veröffentlichte der „Club of Rome“ Modellrechnungen und Entwicklungstrends zu menscheitsbedrohenden Problemfeldern, die Ölkrise von 1973 förderte ebenfalls hochkomplexe Strukturen zutage. Sie erscheint heute aktueller denn je, sodass das Phänomen der Komplexität in den Aufmerksamkeitsfokus vieler Wissenschaften trat (Funke, 2003, 2006). Hierzu findet sich bei Mainzer (2008) folgende Definition zum aktuellen Stand der wissenschaftlichen Perspektive:

Definition

„Die Theorie komplexer dynamischer Systeme ist eine interdisziplinäre Methodologie zur Modellierung nichtlinearer Prozesse in Natur und Gesellschaft. Diese Perspektive nenne ich den dynamical view der Welt. Sie ist die wissenschaftstheoretische Antwort auf die zunehmende Komplexität, Empfindlichkeit und Unübersichtlichkeit der modernen Lebenswelt des Menschen.“ (Mainzer, 2008, S. 112).

Für die Psychologie bedeutete dies die Frage nach der Validität einfacher Problemstellungen in Hinblick auf diese lebensweltlichen Probleme. Es entstand ein neuer Forschungszweig, um sich der geforderten „ökologischen Validität“ (Neisser, 1979, S. 14) zu nähern. Die Entstehung wird für die nationale Forschung einheitlich auf die Lohhausenstudie (1983) von Dietrich Dörner zurückgeführt und auf das Jahr 1975 terminiert (Funke, 2003, 2006; Hussy, 1984; Kersting, 1999; Neber, 1987). Relativ zeitnah folgten Untersuchungen durch verschiedene Gruppen anhand unterschiedlicher Systeme, wie z. B. „Moro“ der Bayreuther Arbeitsgruppe um Putz-Osterloh (1985) oder „SIM02“ der Hamburger Gruppe um Kluwe (Kluwe & Haider, 1990; Kluwe, Schilde, Fischer & Oellerer 1991). Bevor wir die Eigenschaften komplexer Probleme näher behandeln, betrachten wir ein Beispiel.

■ Lohhausen

Im Szenario Lohhausen wird eine fiktive Kleinstadt simuliert, in der die Versuchsperson (Vp) für einen Zeitraum von 10 simulierten Jahren die Funktion des Bürgermeisters übernehmen soll. Zur Verdeutlichung ist folgendes Zitat der Instruktion der ersten Versuchssitzung entnommen:

- » Stellen Sie sich vor, Sie werden plötzlich Bürgermeister von Lohhausen (an der Lohe). ... Zum Teil sind die Einrichtungen auf dem Stadtplan[,] den Sie vor sich haben, eingezeichnet, aber aus diesem Plan sind natürlich nicht alle Feinheiten ersichtlich. ... Die ökonomische Basis der Stadt, wenn auch nicht die einzige Einnahmequelle, ist eine Uhrenfabrik, die Sie leicht im Stadtplan finden werden. Außerdem gibt es eine Bank, Gaststätten, Lebensmittelhändler, Textilwaren- und andere Geschäfte. Natürlich gibt es auch eine Schule, Kindergärten, ein Bad, einen Sportverein samt zugehörigem Fußballplatz und eine Stadtverwaltung. Alle Betriebe in der Stadt, mit Ausnahme der Geschäfte, der Post und der Bahn sind städtisch. Außerdem gehören alle Gebäude und Wohnungen der Stadt und auch der gesamte Grundbesitz. Dafür hat sie aber auch Verpflichtungen: die Stadt zahlt die medizinische Versorgung, direkt oder indirekt die Pensionen und die Arbeitslosengelder. ... Sie betreten nun am 2. Januar 1976 das Rathaus, um Ihr neues Amt anzutreten. Wiederum im Gegensatz zur Realität haben Sie fast diktatorische Vollmachten. Alles, was Sie beschließen, wird tatsächlich durchgeführt. Ihre Aufgabe ist es, für das Wohlergehen der Stadt in der näheren und fernen Zukunft zu sorgen. Was Sie dafür unternehmen, ist Ihre Sache. Da Sie Lohhausen bislang nicht kannten und durch die wenigen und globalen Informationen dieser Instruktion wohl auch kaum genau genug kennengelernt haben, nun noch einige Hinweise: Der Versuchsleiter repräsentiert für Sie so etwas wie eine allgemeine Informationsquelle. ... Natürlich können Sie nur solche Dinge erfragen, die in der Realität für Sie auch erfahrbar wären. In jeder der 8 folgenden Versuchssitzungen haben Sie 2 Stunden Zeit, um Maßnahmen zu überlegen und um Entscheidungen zu treffen. Innerhalb dieser zwei Stunden können Sie überlegen und fragen, wie sie wollen. Sie können sich für bestimmte Maßnahmen entschließen, diese wieder rückgängig machen, ganz wie Sie wollen. Am Schluss der Sitzung sollten Sie sich aber für bestimmte Maßnahmen fest

entscheiden. Diese werden dann durchgeführt, was konkret so aussieht, dass sie dem Computer, der Lohhausen simuliert, zugeführt werden. Der Computer simuliert sodann Lohhausen für den Zeitraum, den Sie wünschen, mindestens aber einen Monat. Bei der nächsten Sitzung bekommen Sie dann Nachricht über die Effekte Ihrer Bemühungen. Insgesamt müssen Sie in dem Versuch 10 Jahre überbrücken. D. h., daß Sie in der achten Sitzung den Zeitraum so festlegen müssen, daß er bis zum 120. Monat geht. Wie Sie den Zeitraum von 120 Monaten auf die 8 Sitzungen verteilen, ist im übrigen Ihre Sache. Sie dürfen sich Aufzeichnungen beliebiger Form und Menge machen, die dann während Ihrer Abwesenheit im Versuchsraum deponiert werden und Ihnen bei den folgenden Sitzungen jederzeit wieder zur Verfügung stehen. ... Bitte denken Sie möglichst viel <<laut>>. Denken Sie daran, daß es uns darauf ankommt, möglichst viel über den Ablauf Ihres Denkens zu erfahren. (Dörner, Kreuzig & Reither, 1983, S. 105–107; Ergänzungen vom Autor)

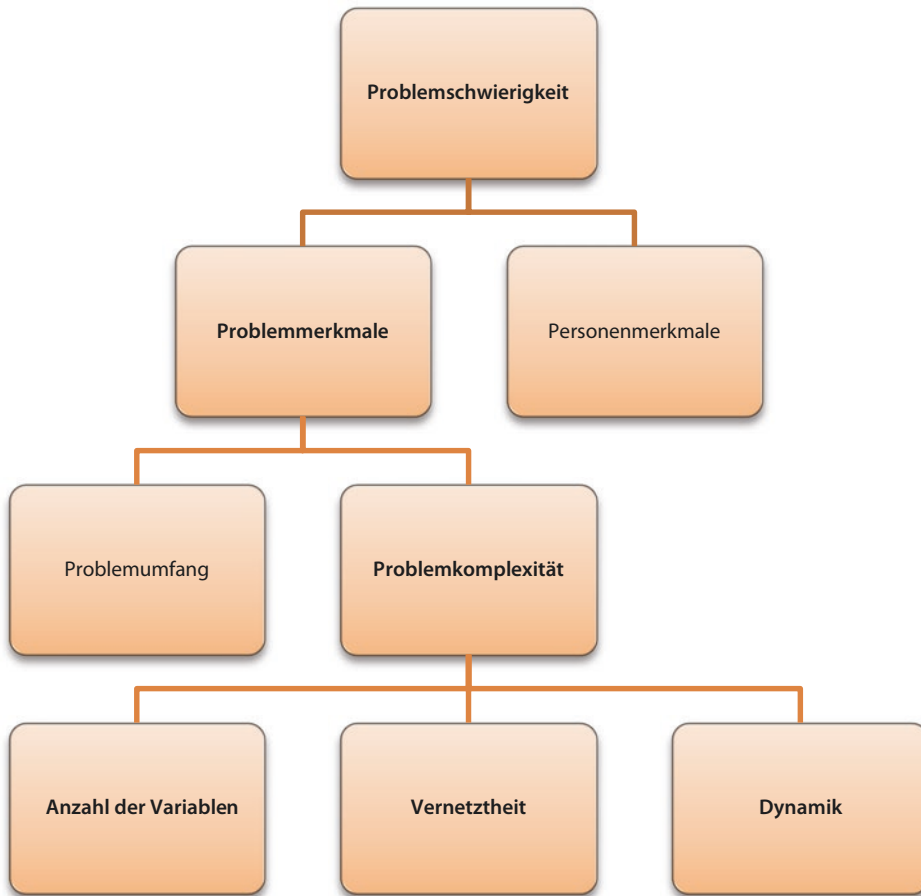
Wir erkennen anhand der Instruktion vier wesentliche Merkmale komplexer Probleme, ein fünftes wichtiges Merkmal ist uns nicht unmittelbar einsichtig, es versteckt sich im angeführten Zitat in den Begriffen „Simulation“ und „Computer“; gemeint ist die Eigenschaft der Dynamik. In den nächsten Abschnitten werden wir gemäß der Taxonomie nach Funke (1990) die ersten drei Eigenschaften komplexer Probleme auf der Ebene der Problemmerkmale, die wir nach unserer obigen Definition nun auch als Systemmerkmale bezeichnen könnten, genauer betrachten: Komplexität, Vernetztheit und Dynamik. In ► Kap. 4 werden uns noch die beiden Eigenschaften Intransparenz und Polytelie begegnen, diese ordnen wir den Situationsmerkmalen zu, und sie müssen daher zusammen mit den Personenmerkmalen betrachtet werden.

2.3.1 Anzahl der Variablen

Dass sehr schwierige Probleme nicht unbedingt komplex sein müssen, ist uns bereits beim Turm-von-Hanoi-Problem begegnet, denn bei sechs Scheiben gäbe es schon 729 mögliche Anordnungen und es wären mindestens 63 korrekte Bewegungen notwendig. Die Schwierigkeit scheint hier also im Umfang zu liegen. Dieser ist nicht mehr der Komplexität gleichzusetzen, denn das Problem besteht lediglich aus zwei Variablen der Scheibenposition und der Scheibengröße (Hussy, 1985), im Lohhausen-Problem sind über 2.000 Variablen beteiligt. Die Komplexität eines Problems ist mit der Variablenzahl unmittelbar konfundiert (Funke, 2003, S. 126) und verlangt vom Problemlöser eine Komplexitätsreduktion. Wenn hier die Person mit in die Betrachtung aufgenommen wird, kann unter der Komplexität auch die Zahl der beteiligten kognitiven Prozesse betrachtet werden (Hussy, 1984, S. 129). Der schon bei den einfachen Problemen angesprochene Auflösungsgrad begegnet uns in diesem Zusammenhang wieder. So finden wir folgendes passende Zitat in einem Grundlagenwerk der Kybernetik:

- » Wäre unser dynamisches System eine Eingeborenenfamilie von fünf Personen, würden wir sie dann als aus fünf Teilen bestehend und demnach als „einfach“ oder als aus 10^{25} Atomen bestehend und demnach als „sehr komplex“ betrachten? (Ashby, 1974, S. 98)

Die Komplexität eines Problems ist also unmittelbar mit dem Auflösungsgrad der Betrachtung verbunden. Berücksichtigen wir hier wieder die zwei Seiten von Wirklichkeit und Möglichkeit, ergibt sich als Situationsmerkmal eine Aktualität der Komplexität, das System bietet eine Potenzialität der Komplexität (Dieckmann, 2006; ■ Abb. 2.9).

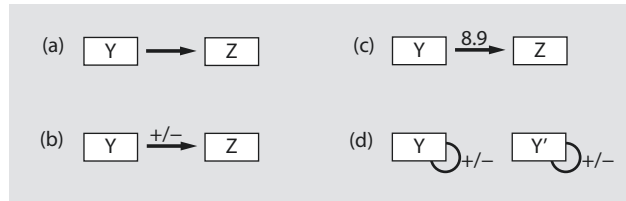


■ **Abb. 2.9** Die Problemkomplexität ergibt sich aus den Eigenschaften *Anzahl der Variablen*, *Vernetztheit* und *Dynamik*; diese Eigenschaften werden als Systemeigenschaften bezeichnet

2.3.2 Vernetztheit

Unter Vernetztheit (Konnektivität) wird die Verflechtung bzw. gegenseitige Abhängigkeit (Neber, 1987) von Variablen untereinander verstanden. Hier sind zwei unterschiedliche Extremfälle denkbar: von komplett unverbundenen Variablen bis hin zu komplett vernetzten Variablen, die auch noch mit sich selbst rückgekoppelt (rekursiv) sind. Die Veränderung einer Variablen hat also bei der Vernetztheit Auswirkungen auf mindestens eine weitere Variable oder auf sich selbst. Diese Variablen sind als endogen zu bezeichnen (Funke, 1990). Funke deutet darauf hin, dass Vernetztheit kein Alleinstellungsmerkmal von komplexen Problemen darstellt, auch wenn es eine notwendige Bedingung komplexer Systeme ist (Funke, 2003, S. 130). Funke u. Spering (2006) unterscheiden in diesem Zusammenhang

- die Relation zwischen den Variablen (■ [Abb. 2.10](#)),
- die genaue Wirkrichtung der Relation und
- die genaue Stärke dieser Relation zwischen den Variablen (Funke & Spering, 2006, S. 683).



■ **Abb. 2.10** Die verschiedenen Stufen der Relation zwischen Variablen (a–d). Die Variable Y ist als exogene Variable zu betrachten, die Variable Z bildet die endogene Variable ab; (d) verdeutlicht, dass eine exogene Variable durch die Rekursion auf sich selbst zur endogenen Variable werden kann und ihren eigenen Zustand verändert (Y wird zu Y')

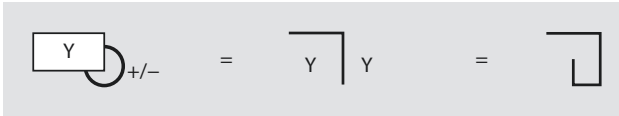
Sind in einem System von 10 Variablen alle Variablen miteinander vernetzt, so ist dieses System wesentlich komplexer, als wenn jeweils nur eine Variable mit genau einer anderen vernetzt wäre, was als binäre Beziehung bezeichnet wird. In komplexen Systemen kommen häufig ternäre, quaternäre und weitere Konnektionen vor; hieraus können sog. Mehrfachwirkungen entstehen. Erst wenn es zu Beziehungen zwischen Beziehungen kommt, spricht man von Beziehungen höherer Ordnung (Dörner, 1983). Hier würde der Zustand einer Variable X auf die Stärke der Relation zwischen Y und Z (■ [Abb. 2.10c](#)) wirken. Aus der Beziehung höherer Ordnung oder aus der Selbstreferenz ergibt es sich, dass die genaue Stärke einer Beziehung nicht unbedingt linear sein muss (Hussy, 1998).

2.3.3 Dynamik

Das Merkmal der Dynamik eines Systems bedeutet, dass die Dimension Zeit einbezogen wird. Im Lohhausen-Problem wird Zeit mithilfe des Computers simuliert. Im Zusammenspiel der Faktoren Zeit und Vernetztheit entsteht das System mit seinem bestimmten Wirkgefüge (Dörner, 1983; Funke, 2003). Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Stabilität und Konnektivität; diese beiden Bereiche sind weitgehend unabhängig voneinander (Funke, 1990). Wir haben den Aspekt der Stabilität in ► [Abschn. 2.2.2](#) kennengelernt. Die stabilen Elemente verändern sich unter dem Einfluss der Zeit nicht. Bei Variablen mit Konnektivität gibt es eine Differenz zwischen Vergangenheit und Zukunft, aus einer zunächst rein räumlichen Struktur entsteht eine „zeitliche“ Struktur (Ebeling et al., 1998). Dies ist die Grundlage für kausale Relationen, Reversibilität und Irreversibilität in Systemen.

Diskrete und kontinuierliche Systeme

Stehen wir vor einem See, so haben wir aus zeitlicher Perspektive ein kontinuierliches System vor unserem Auge. Simulieren wir diesen See in unserem Computer möglichst genau und lassen dieses System in Abhängigkeit zur Systemzeit entstehen, so wäre das System noch immer kontinuierlich. Die Simulation ermöglicht es uns nun, bestimmte Zeitpunkte „festzuhalten“, das System wird zeitlich diskret. Betrachten wir die Instruktion des Lohhausen-Problems, so sehen wir, dass es sich hierbei um ein zeitlich diskretes System handelt. Die Vp muss innerhalb von acht Versuchssitzungen 120 Monate überbrücken, sie darf den Simulationszeitraum ihrer Eingriffe selbst festlegen, als Minimum wird ein Intervall von einem Monat vorgegeben. Es ist festzuhalten, dass sich zeitdiskrete Systeme je nach Auflösungsgrad zeitkontinuierlichen Systemen annähern können, hier sind die Übergänge fließend (Funke, 1990, S. 147; Mainzer, 2008).



■ **Abb. 2.11** Selbstreferenz verdeutlicht, dass sich ein Zustand auch ohne Eingriff eines Problemlösers verändert. Erst durch den Faktor Zeit erscheint Selbstreferenz nicht als etwas Paradoxes

■ Eigendynamik

Das Phänomen der Eigendynamik ist automatisch verbunden mit einem aktiven Element. Ein aktives Element determiniert sich partiell selbst, es ist abhängig von seinem eigenen Zustand zum Zeitpunkt $t - \Delta t$. Diese Variable verändert sich selbst, auch wenn eine V_p nicht in das System eingreift. Eine solche Eigenaktivität ist nur möglich, wenn dieses Element selbst eine bedeutsame Struktur hat, d. h. aus Komponenten und Beziehungen besteht. Daher werden solche Elemente auch als vergangenheitsabhängige Systeme oder Automaten bezeichnet (Dörner, 1983, 1989; Brehmer, 1995; Funke, 1990; Gandolfi, 2001; Hussy, 1998). Funke (1990) spricht den Gewichten dieser Elemente vier mögliche Prozesse zu:

1. Abnahme,
2. Zunahme,
3. Oszillation und
4. Stabilität.

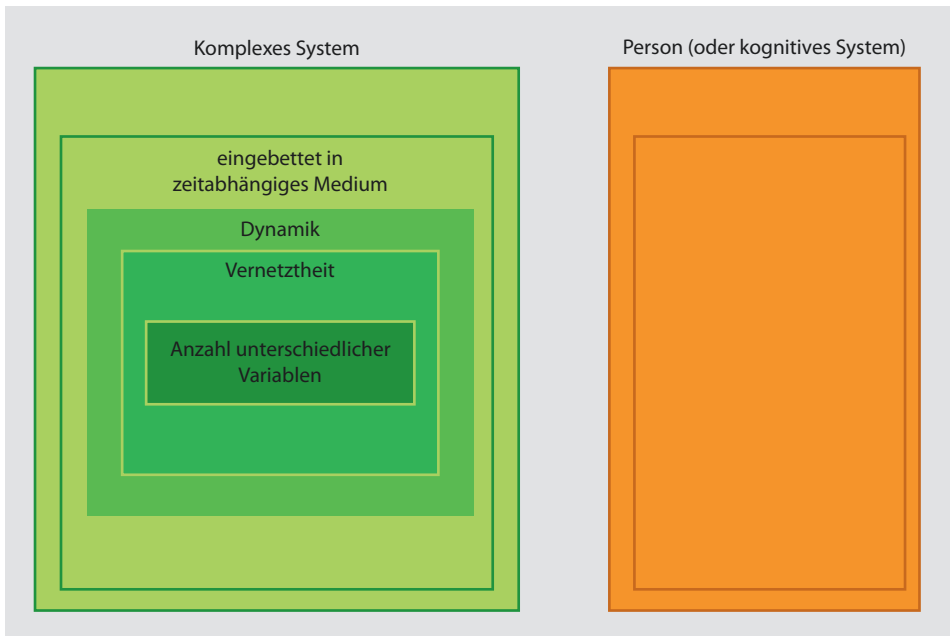
Wir versuchen kurz, dies anhand der gewöhnlichen Algebra zu verdeutlichen. Gegeben sei die Variable y in der Formel $y^2 = ay + 1$. Wir müssen nun die Gleichung so umstellen, dass sie tatsächlich selbstreferenziell wird. Ohne einen zeitlichen Verlauf wird sie uns allerdings paradox erscheinen: $y = a + 1/y$. Diese Gleichung ist nur durch einen infiniten Wiedereintritt („reentry“), also einen fortgesetzten Bruch zu lösen: $y = a + 1/(a + 1/(a + 1/(a + 1/(a + 1/a + \dots))))$. Diese Form der Darstellung wird in ■ **Abb. 2.10d** durch den Kreis ersetzt (Kauffman, 2002), die Selbstreferenz erscheint uns nicht mehr paradox, sondern generativ (■ **Abb. 2.11**).

Wir erkennen zu diesem Zeitpunkt, dass anders als bei unseren einfachen Problemen, die Versuchsperson nun einem vollwertigen System gegenübersteht. Es kann allerdings auch der Fall auftreten, dass von „einfachen dynamischen Systemen“ (Reichert & Dörner, 1988, S. 12) die Rede ist, wie es Reichert und Dörner für einen einfachen zeitversetzten Regelkreis verwenden (■ **Abb. 2.12**).

Web-Exkurs

Komplexität: einfache und komplexe Probleme

Wir haben uns im zweiten Kapitel ausgiebig mit der Theorie zu einfachen und komplexen Systemen auseinandersetzen können. Der Web-Exkurs auf der Springer-Webseite <http://www.lehrbuch-psychologie.de> wird uns die Möglichkeit geben, unser theoretisches Wissen in eine erste eigene Praxiserfahrung umzusetzen. Hierzu werden wir die Computersoftware NetLogo (Wilensky, 1999) kennenlernen und verwenden. Für erste Schritte bietet uns NetLogo in einer Model-Bibliothek zahlreiche Beispiele komplexer Systeme aus unterschiedlichen Disziplinen, von Physik und Biologie bis zur Sozialwissenschaft, an. Der Exkurs sieht auch die erste Umsetzung eines eigenen Systems in der Syntax von NetLogo vor.



■ **Abb. 2.12** Im Vergleich zum einfachen Problem kann ein komplexes System auch unabhängig von der Person betrachtet werden. Ein komplexes Problem entsteht allerdings erst wieder zwischen Person und System. Zu erkennen ist die Einbettung der Vernetztheit zwischen der Eigenschaft der Dynamik und den Variablen des Systems. Es soll verdeutlicht werden, dass die Vernetztheit als notwendige Bedingung der Dynamik anzusehen ist

Zusammenfassung

Wir haben uns in diesem Kapitel mit den Eigenschaften von einfachen und komplexen Problemen auf der Problemebene bzw. Systemebene beschäftigt. Diese sind notwendige, aber noch keine hinreichenden Eigenschaften, um von Problemen zu sprechen. Wir werden uns daher in ► [Kap. 4](#) mit den Eigenschaften der problemlösenden Person auseinandersetzen müssen und im vierten Kapitel mit der Koppelung dieser Eigenschaften über die Ebene der Situation.

Die notwendigen Überschriften dieses Kapitels sollen keine strikte Trennung von einfachen und komplexen Problemen implizieren, sodass es mit folgendem Zitat ein passendes Ende findet: „Das wohl größte Problem stellt die Tatsache dar, dass es bis heute keine dezidierte Theorie des Umgangs mit komplexen Problemen gibt. Es ist nicht einmal klar, ob für das Lösen komplexer Probleme überhaupt eine prinzipiell andere Theorie als zum Lösen einfacher Probleme benötigt wird. Tatsächlich sollte eine übergreifende Kognitionstheorie den Umgang mit allen Arten von Problemen beschreiben und erklären.“ (Funke, 2006, S. 444)

Gedächtnis: Informationsverarbeitung in der kognitiven Architektur

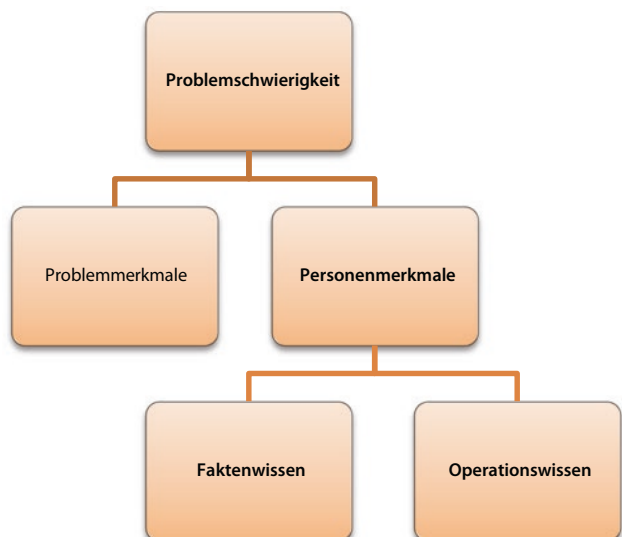
- 3.1 Kognition – 24**
- 3.2 Information – 26**
 - 3.2.1 Informationsverarbeitung – Grundlagen der Computermetapher – 29
 - 3.2.2 Informationsverarbeitung – Symbole – 30
 - 3.2.3 Informationsverarbeitung der höheren kognitiven Funktionen – Inferenzen – 31
- 3.3 Architekturen der Kognition – 33**
 - 3.3.1 MEKIV – 34
 - 3.3.2 ACT-R – 36
 - 3.3.3 Working Memory – 40

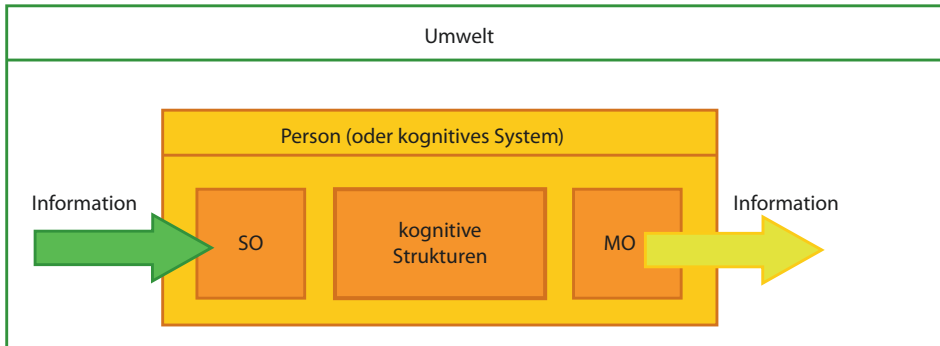
Um im Verlauf dieses Buches dem Zusammenspiel von Problem-, Personen- und Situationsmerkmalen im Problemlösen näher zu kommen, widmen wir uns in diesem Kapitel den Personenmerkmalen. Hierzu nehmen wir die Perspektive der kognitiven Psychologie auf die menschliche Informationsverarbeitung ein. Bei bestimmten Personenmerkmalen werden wir erkennen, dass wir sie nicht gänzlich ohne das Konstrukt des Problems betrachten können. Dies wird uns an ein Werk Karl R. Poppers erinnern, es trägt den Titel „Alles Leben ist Problemlösen“ (1994). Die Organisation dieser Taxonomie gibt **Abb. 3.1** noch einmal veranschaulichend in einem Diagramm wieder.

3.1 Kognition

„Every good regulator of a system must be a model of that system“ so der Titel des von Conant u. Ross Ashby im Jahre 1970 veröffentlichten Aufsatzes, der als programmatisch für die Perspektive des Paradigmas der Kybernetik betrachtet werden kann. Die Gedanken eines der Urheber dieses Paradigmas, Norbert Wiener (1948), hatten Auswirkungen auf sämtliche wissenschaftliche Perspektiven. Sie legten auch den Grundstein für den Wandel der psychologischen Perspektive auf die „black box“ Mensch zur kognitionspsychologischen Perspektive auf eine „white box“ Mensch (Wiener, 1965; Glaser, 1991). Die Geburtsstunde der kognitiven Psychologie wird oftmals mit der Veröffentlichung des Buches „Cognitive psychology“ von Neisser (1976) terminiert. Der Einfluss der Kybernetik auf die Entwicklung dieser neuen Perspektive ist einstimmig groß gewesen (Beckenkamp, 1995; Hussy, 1998; Klix, 1988; Mandel & Spada, 1988; Mayer, 1992). Die wohl wichtigste Schnittstelle bildet hier eine Komponente namens „TOTE-Einheit“ (TOTE, Test-Operate-Test-Exit), eingeführt von Miller, Galanter und Pribram im Jahre 1960, die menschliches Verhalten in einer bestimmten Art von Regelkreis beschreibt (Miller, Galanter & Pribram, 1973). Die aktuelle Perspektive der kognitiven Forschung basiert größtenteils auf der sog. Computermetapher, nach Newell u. Simon (1972) auch als Informationsverarbeitungssystem (IVS) bezeichnet, das mindestens aus den Elementarkomponenten Gedächtnis und Prozessor besteht (Frensch, 2006; Fritz & Funke, 1995). Die Weiterentwicklung der Informationsverarbeitungssysteme mündet in den kognitiven Architekturen (Dörner, 1979; Hussy, 1983; Anderson, 1983).

Abb. 3.1 Die Rahmenkonzeption nach Hussy (1984) gibt zu den Personenmerkmalen zwei Wissensbereiche an, das Faktenwissen und das Operationswissen. (Nach Hussy, 1984)





■ **Abb. 3.2** Das Individuum ist in seine Umwelt eingebettet. Die Sinnesorgane (SO), kognitiven Strukturen und die Motorik (MO) gehören zur Person. Zu erkennen ist, dass die *Information* die jeweilige Schnittstelle bildet

Diese Perspektive fasst ■ **Abb. 3.2** noch einmal veranschaulichend zusammen. In letzter Zeit wird der Einfluss der Gehirnmetapher größer. Ihre Modelle werden konnektionistische Netzwerke, neuronale Netzwerke oder parallel verteilte Prozessmodelle genannt. Ihre Vertreter lehnen die Nutzung expliziter Regeln und Symbole ab (Favre-Bulle, 2001; Beckenkamp, 1995). Es sind bei ihrem Vergleich allerdings unterschiedliche Ebenen der Betrachtung zu erkennen, sodass große Erwartungen in hybriden Modellen dieser Perspektiven liegen (Frensch, 2006; Marcus, 2001; Varela, 1990). Doch zunächst ein kurzer Blick auf die Kybernetik.

■ Kybernetik

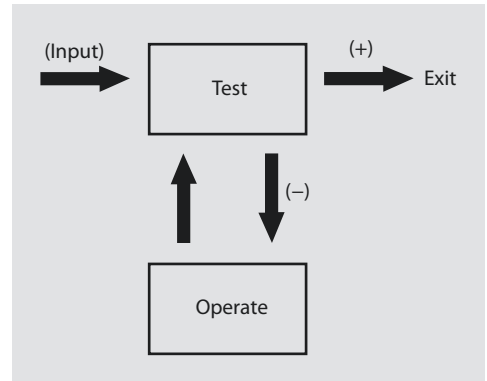
Auch wenn die erste Verwendung des Begriffs „cybernétique“ im Jahre 1834 durch André Ampère belegt ist (Cube, 1968), so gebührt es an dieser Stelle den ersten Stellvertreter dieser Perspektive zu zitieren:

» We have decided to call the entire field of control and communication theory, whether in the machine or in the animal, by the name *Cybernetics*, which we form from the Greek κυβερνητης or *steersman*. (Wiener, 1948, S. 11)

Diese Perspektive auf Forschungsgegenstände stellt somit die Strukturen, Funktionen, die Kontrolle und die Steuerung (griech. *kybernetes* = Steuermann) eines IVS in den Vordergrund und die Materialeigenschaften des Gegenstandes und die Energieaspekte der Prozesse fallen heraus. Dadurch wird die Universalität des Paradigmas erzeugt (Hussy, 1998; Baeyer, 2005). Kern der Theorie bildet die Rückkopplung bzw. das Modell des Feedbacks (Dieckmann, 2006; Glaser, 1991; Mayer, 1992). Miller et. al (1973) haben hierzu die TOTE-Einheit entwickelt: Ein Element namens „Test“ (T) enthält Informationen zu einem Ist- und einem Soll-Zustand. Stellt das Element eine Diskrepanz zwischen den Zuständen fest, so werden Maßnahmen durch ein Element „Operate“ (O) getroffen. Der neue Istzustand wird an „Test“ zurückgemeldet. Liegt noch immer eine Diskrepanz vor, kann sich der Prozess wiederholen, bis der Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand übereinstimmt, erst diese Information gelangt zum Element „Exit“ (E), die Rekursion wird beendet. Diese Einheit wird in ■ **Abb. 3.3** noch einmal in ihrer klassischen Darstellungsform verdeutlicht.

Der Sollwert kann als Regelungsziel oder Zweck betrachtet werden. Man kann in diesem Mechanismus erkennen, dass eine Aufgabe erledigt wird. Eine aktuelle Situation (Ist-Zustand) wird in eine gewünschte Situation (Soll-Zustand) überführt (Operate), eine Barriere liegt nicht

■ **Abb. 3.3** Die TOTE-Einheit nach Miller, Galanter und Pribram (1960); verdeutlicht ist die Rückkopplung zwischen den Elementen *Test* und *Operate*. (Nach Miller, Galanter & Pribram, 1960)



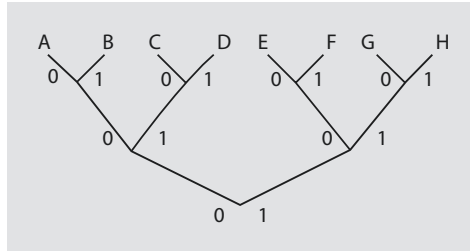
vor, eine Differenz zwischen Ist und Soll wird über eindeutige Operatoren ausgeglichen. Die negative Form der Rückkopplung hat zur Folge, dass eine Variable konstant gehalten wird; dieser Prozess ermöglicht die Herstellung von Systemstabilität in varianten Umwelten (Dieckmann, 2006): Mit anderen Worten erkennen wir hier die Erzeugung von Stabilität mittels Dynamik (Glanville, 2005). Hussy (1998) spricht davon, dass das menschliche Individuum im Rahmen der kognitiven Psychologie als ein „offenes, kybernetisches System“ (Hussy, 1998, S. 46) betrachtet werden kann. Die Eleganz einer solchen Einheit kann faszinierend wirken, aber es stellen sich uns zentrale Fragen: Wie setzt sich der Soll-Zustand zusammen? Was ist unter dem Input, also der Information, zu verstehen? Was verbirgt sich hinter Operate? Es wird uns aufgezeigt, dass das Individuum im Informationsaustausch mit der Umwelt steht (Hussy, 1998, S. 48). Dörner (1979) spricht vom „Problemlösen als Informationsverarbeitung“ und Wiener (1948) fasst das gesamte Gebiet der Informationstheorie in seine Perspektive ein. Was vermag sich hinter dem Konstrukt der Information verbergen? Wir wollen im nächsten Abschnitt kurz auf wesentliche Aspekte eingehen, die ► Kap. 4 erweitert werden.

3.2 Information

Der Begriff der Information kommt aus dem Lateinischen und bedeutet ursprünglich Bildung oder Belehrung. Im übertragenen Sinne wird eine Formgebung benannt, das Eindrücken einer Form in eine formlose Masse, in ein Medium. Cicero verwendete das Verb „informare“ als „gestalten“ oder „eine Vorstellung entwickeln“ (Baeyer, 2005). Heutzutage prägt dieser Begriff den Namen unseres Zeitalters als „Informationszeitalter“. Er steht in direkter Verbindung zur heutigen Technik, die als Produkt der Kybernetik zu betrachten ist, die Industrienationen können kaum noch auf den „Cyberspace“ in ihrem Alltag verzichten. Doch wie lässt sich die Information noch etwas näher betrachten? Aus der Perspektive der Nachrichtentechnik wurde die Information zunächst von ihrer Bedeutung getrennt in den Fokus gerückt: „Information existiert auch ohne Bedeutung.“ (Klix, 1971, S. 77). Glaser (1991) drückt es noch drastischer aus: „Information wird [...] neben den physikalischen Begriffen Materie und Energie zum dritten Grundbegriff der Weltbeschreibung.“ (Glaser, 1991, S. 127).

■ Nachrichtentechnisches Informationsparadigma

Wir haben das Sender-Empfänger-Modell nach Shannon u. Weaver (1969) bereits in der ■ Abb. 2.7 kennengelernt, die klassische Informationstheorie baut auf der Übertragung von Signalen auf. Der Sender verfügt über einen begrenzten Vorrat an Signalen, dessen Elemente er über



■ **Abb. 3.4** Zu erkennen sind die acht verschiedenen, gleichwahrscheinlichen Ausgabesymbole der Maschine und die drei Ebenen der Entscheidung, die jeweils zum Informationsgehalt 3 Bit (z. B.: A: 000 oder F: 101) führen. *Bit* „basic indissoluble information unit“ bzw. „binary digit“

einen Kanal zum Empfänger sendet. Nun wird nicht das Resultat der kognitiven Interpretation im Empfänger als Information bezeichnet, sondern nur das Maß an aufgehobener Unsicherheit. Unsicherheit ist hier als mathematische Kenngröße zu betrachten und steht in direktem Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeiten. Stellen wir uns hierzu eine Maschine vor, die acht verschiedene Signale produzieren kann: A B C D E F G H (■ [Abb. 3.4](#)).

Die Ausgabe der Maschine ist zufällig, daher weiß ein Empfänger vor dem Aussenden noch nicht, welches der acht Signale er empfangen wird, er wird „überrascht“. Sobald er ein Zeichen empfängt, weicht die vorherige Unsicherheit einer bestimmten Sicherheit; in diesem Augenblick entsteht Information. Die Unsicherheit 1 aus 8 (acht mögliche Buchstaben) wird über den Logarithmus zur Basis 2 (ld = logarithmus dualis) angegeben und in der elementaren Informationseinheit „bit“ („basic indissoluble information unit“ oder auch „binary digit“) ausgedrückt: $\log_2 8 = \text{ld } 8 = 3 \text{ bit}$. Man benötigt bei dieser Maschine 3 Schritte, um zum jeweiligen Objekt zu gelangen, man sagt auch, es seien drei „Innovationen“ notwendig (■ [Abb. 3.4](#)). Wäre die Maschine defekt und sie gäbe immer das gleiche Zeichen aus, ergäbe sich $\log_2 1 = 0 \text{ bit}$, die Maschine würde keine Information liefern (Favre-Bulle, 2001). Würde die Maschine allerdings jeweils 3 Zeichen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit ausgeben, so müsste man von $8^3 = 512$ gleichwahrscheinlichen Dreierkombinationen ausgehen, für diese Unsicherheit würde sich ergeben ([Gl. 3.1](#)):

$$U = (\log_2 8 + \log_2 8 + \log_2 8 = \log_2 512 = 9 \text{ bit}) \quad \text{Gl. 3.1}$$

■ Entropie und selektive Information

Natürlich sind Maschinen denkbar, bei denen die Zeichen in unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten (p) auftreten. Deren mittlere Unsicherheit wird auch als Entropie H bezeichnet. Der Begriff der Entropie ist vermutlich der Thermodynamik nach Ludwig Boltzmann (1877) entliehen. Bei der oben aufgeführten Maschine ist durch die Gleichwahrscheinlichkeit aller drei Zeichen $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$ das Maximum ($H_{\max}$) an möglicher Entropie erreicht. Die Anzahl der Elemente (n) und deren Wahrscheinlichkeit (p) sind hier die maßgeblichen Größen. Es gilt folgende Formel ([Gl. 3.2](#)):

$$\bar{U} = H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad \text{Gl. 3.2}$$

Das nachrichtentechnische Paradigma verdeutlicht uns, dass durch die Information mögliche Alternativen eingeschränkt werden (Klix, 1971; Caves, 1990; Cube, 1968; Hussy, 1984). Entscheidend ist bei Shannon die Auswahl dieser Alternativen, man spricht daher auch von „selektiver Information“.

■ Redundanz

Nach Wiener (1965) kann Entropie als Unordnung in einem System betrachtet werden. Durch die Information nimmt die Ordnung in einem System zu, Information wird aus dieser Perspektive daher auch als Negentropie (Cube, 1968, S. 54) bezeichnet. Nach Wiener ist der Informationsgewinn ein Negentropieprozess, dieser ist der Zunahme der Entropie entgegengesetzt. Ein Lernender geht in diesem Sinne immer von einer maximalen Entropie aus (subjektive Entropie). Er erwartet, dass Ereignisse mit gleicher Häufigkeit auftreten. Nach und nach erfolgt eine Angleichung (informationelle Approximation), es entstehen Erwartungswahrscheinlichkeiten; dies stellt einen Informationsgewinn dar. Wir werden an den Imperativ von Spencer-Brown erinnert: die Erwartungswahrscheinlichkeit liefert die Möglichkeit, eine Unterscheidung zu treffen. Die Elemente eines Systems werden unterscheidbar, erste endliche Schemata entstehen durch diesen Prozess (Cube, 1968, S. 57; Mandl, Friedrich & Horn, 1988). Wir finden dies ähnlich ausgedrückt bei Neisser (1976): „Die Entwicklung des Schemas geht daher vom Allgemeinen zum Besonderen, vom Undifferenzierten zum Spezifischen.“ (Neisser, 1976, S. 58). Wichtig ist es nun, das Konstrukt der Redundanz mit in die Überlegungen aufzunehmen. Redundanz wird oft auch synonym für Wiederholung benutzt (Cube, 1968; Klix, 1971). Wiederholung bedeutet eine hohe Häufigkeit bestimmter Elemente bzw. eine hohe Wahrscheinlichkeit des Erscheinens dieser. Redundanz lässt sich nach folgender Formel ausdrücken (Gl. 3.3):

$$R = 1 - H/H_{\max} \quad \text{Gl. 3.3}$$

Hierzu betrachten wir wieder eine Ausgabe unserer Maschine. Eine defekte Maschine würde uns immer das gleiche Signal ausgeben; hier wäre die Wiederholung maximal. Sie würde den maximalen Redundanzwert von $R=1$ erhalten. Diese Ausgabe wäre eine vollkommene Wiederholung und sie würde dem Empfänger nichts mitteilen. Betrachten wir einen anderen Output der Maschine: a a a a a a a a a a a a a a b b b b b b b b c c d d e f g h. Wir haben oben gelernt, dass die Maximalinformation der Maschine je Zeichen $H_{\max}=3$ bit beträgt. Die aufgeführte Buchstabenliste zeigt uns eine ungleiche Häufigkeitsverteilung an, wir können die mittlere Unsicherheit, die Entropie, ermitteln und erhalten für die Ausgabe der Maschine $H = 2,125$ bit je Zeichen. Es ergibt sich in dieser Ausgabe eine Redundanz von $R=0,2917$. Der Empfänger soll nun die Möglichkeit erhalten, diese Ausgabe in neue Zeichen zu ordnen. Hierzu sind Gedächtnisfunktionen unbedingt notwendig. Es würden sich folgende übergeordnete Zeichen ergeben: $z_1 = a a a a a a a a a a a a a a$, $z_2 = b b b b b b b b b b$, $z_3 = c c d d$, $z_4 = e f g h$. Der Output der Maschine wäre nun wie folgt zu erfassen: $z_1 z_2 z_3 z_4$. Diese Zeichen haben eine mittlere Unsicherheit von $H = 2$ bit je Zeichen. Die Formeln zur Errechnung der Superzeichenredundanz und einer Stufenredundanz sollen an dieser Stelle nicht weiter aufgeführt werden; man erhält einen Wert von $R_s = 0,91$. Würde der Empfänger noch mehr Informationen zusammenfassen, so käme er schließlich zur Redundanz von 1. Mit jeder Wiederholung dieses Prozesses nimmt die subjektive Information des Empfängers durch Speicherung zu höheren Zeichen ab, bis sie den Wert Null erreicht hat. Führen wir uns dies mit einer Analogie aus dem Alltag vor Augen. Hören wir ein Lied, so hat es für uns viele neue Informationen und die einzelnen Strophen wahrscheinlich wenig Redundanz, erst im Refrain fällt uns die Wiederholung auf. Die aufgeführten Prozesse können wir uns mit einem Beispiel aus dem Alltag vor Augen führen, z. B. wieso wir oftmals einen Refrain mitsingen, bei Strophen aber meistens in ein Summen übergehen. Die bisherigen Ausführungen zeigen uns, dass die Funktionen der Speicherung mit den Prozessen der Verarbeitung in einem sehr engen Verhältnis zueinander stehen. Wir werden uns diesen Prozessen bis hin zur kognitiven Architektur sukzessiv nähern.

3.2.1 Informationsverarbeitung – Grundlagen der Computermetapher

Die bisherigen Ausführungen haben sich mit dem Konstrukt der Information auf der Ebene der Signale beschäftigt, über die Superzeichenbildung haben wir uns bereits der höheren Ebene der Symbolverarbeitung genähert. Die Symbolverarbeitung bildet das Rückgrat aller Informationsverarbeitungssysteme (IVS), die Denken als Berechnung über symbolische Repräsentationen konzipieren, nach Fodor (1975) auch als „language of thought“ bezeichnet. Was können wir unter symbolischer Repräsentation verstehen?

■ Kodierung

Die bisher genutzte Maschine hat auf einen Vorrat von acht Signalen zurückgegriffen. Die fixierte Zuordnung von Zeichen eines Vorrates zu denen eines anderen Vorrates wird als Code bezeichnet. Der Prozess einer Zeichenumwandlung als Kodierung oder Rekodierung. In diesem Prozess verdeutlicht sich, dass das Zeichen nicht materiell zu betrachten ist, es ist „intelligibel“. Das Schriftzeichen „A“ ist in unserem Beispiel kodierbar in „000“, auf einem herkömmlichen Computer ist das „A“ im sog. ASCII-Code als „01000001B“ kodiert (Schumacher, 1990).

■ Seriell-Parallel-Wandlung

Die wichtigste Unterscheidung bei einer Kodierung sind die Formen Parallel und Seriell (Anderson, 1983). Die Buchstaben und Wörter eines Textes liegen in einem Buch parallel vor, der Prozess des Lesens findet in serieller Form statt, es vollzieht sich eine Parallel-Seriell-Wandlung (Glaser, 1991). Bei dieser Wandlung wird ein Signalparameter von einer Funktion des Ortes in eine Funktion der Zeit übersetzt. Bei der Seriell-Parallel-Wandlung, etwa dem Schreiben eines Textes, ist es genau umgekehrt. Beide Prozesse werden auch als „Abtastung“ bezeichnet. Glaser (1991) betont, dass Parallelsysteme bei der Informationsübertragung über die Zeit hinweg, also der Speicherung, den seriellen Systemen überlegen sind. Um Distanzen im Raum zu überwinden, sind seiner Ansicht nach nur serielle Systeme geeignet. Klix (1971) argumentiert ähnlich und nutzt den nachrichtentechnischen Begriff der Bandbreite (Klix, 1971, S. 54).

■ Algorithmus

Wir haben zwei Typen von Informationswandlungen kennengelernt, die Kodierung und die Seriell-Parallel-Wandlung. Für die physische Ausführung solcher Prozesse ist eine festgelegte Folge von Operationen notwendig: ein Algorithmus. Der Name leitet sich von dem Namen des mittelalterlichen persischen Mathematikers „Abu Ja’far Mohammed ibn Mūsā al-Khōwārizmī“ (früher auch lat. „algorism“) her ab. Sein Lehrbuch mit dem Titel „Kitab al-jabr w’ al-muqabala“ beinhaltet die Herkunft des heutigen Wortes „Algebra“. Algorithmen waren aber schon lange zuvor bekannt. Der wohl berühmteste seiner Art ist der Euklidische Algorithmus, der ca. 300 v. Chr. entstanden ist (Penrose, 2002). Die wohl wichtigste Eigenschaft eines Algorithmus besteht darin, dass er auf einer physischen Ebene funktioniert, aber selbst nicht notwendigerweise physisch implementiert sein muss. Ein Algorithmus kann ebenfalls in Form einer Zeichenfolge kodiert sein. Dies ist der wichtigste Schritt in der Entwicklung des heutigen Computers gewesen, Hard- und Software konnten getrennt voneinander betrachtet werden (Glaser, 1991; Oberauer, 1993). Der Algorithmus bildet die auszuführende Funktion, die eine bestimmte Menge von Daten verrechnet. Mit einer algebraischen Gleichung ist für jeden Wert der unabhängigen Variablen auch der zugehörige Wert der abhängigen Variablen definiert; dies zeichnet die Eindeutigkeit eines Algorithmus aus. Mayer (1997) bezeichnet dies mit den Worten: „Algorithms guarantee specific answers, since they simply apply a past set of rules to a new situation.“ (Mayer, 1997, S. 178). Ein Algorithmus kann wiederum einen weiteren Algorithmus beinhalten. Wichtig

ist, diese ergeben zusammen ein systematisches Verfahren. Damit ein Algorithmus wirken kann, bedarf es allerdings bestimmter Systeme: einer Turing-Maschine oder eines kognitiven Systems.

■ Turing-Maschine

Die Kernidee einer Turing-Maschine ist die Unterscheidung zwischen einem Prozessor und einem Band mit Symbolen (Miller & Galanter & Pribram, 1973; Oberauer, 1993; Schank & Abelson, 1977). Der Prozessor befindet sich zu jedem Zeitpunkt in einem Zustand aus einer Menge endlicher Zustände. Jede Operation des Prozessors ist determiniert durch seinen Zustand und das Symbol, das er gerade abliest. Die Symbolsequenz auf dem Band besteht aus dem Algorithmus, also der auszuführenden Funktion, und aus der Menge der Daten, die nach dieser Funktion zu verrechnen sind (Oberauer, 1993; Glaser, 1993; Penrose, 2002). Auf diese Weise ist jede berechenbare Funktion ausführbar. Wichtig ist, dass die internen Zustände endlich und das Verhalten durch den Anfangszustand und den Input vollkommen deterministisch sind. Alle heutigen Personalcomputer arbeiten nach diesem Prinzip. Früh wurde erkannt, dass damit eine mächtige Menge allgemeiner Symboltransformationen nachgebildet werden kann. Die Forschung zur Künstlichen Intelligenz machte sich auf den Weg, Codesysteme für die rechnerinterne Repräsentation von Wortbedeutungen, Sachverhalten oder Problemen (Newell & Simon, 1972; Quillian, 1969; Rumelhart & Norman, 1978) zu entwickeln. Zeitweise kamen in jener Zeit Gedanken auf, das gesamte menschliche Bewusstsein als einen großen Algorithmus zu betrachten (Penrose, 2002, S. 16).

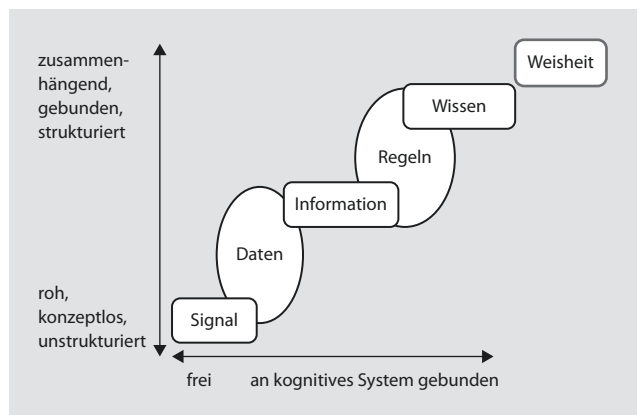
3.2.2 Informationsverarbeitung – Symbole

Die Turing-Maschine hat uns als Modell einer ersten Ebene der Symbolverarbeitung gedient. Hier haben wir uns hauptsächlich mit der Kodierung und Verarbeitung von Zeichen beschäftigt. Nun wollen wir das Konstrukt Zeichen ein wenig genauer beleuchten, um anschließend die höheren Prozesse zu betrachten, die auf der Verarbeitung von Symbolen aufbauen (■ Abb. 3.5).

■ Semiotik

Was haben wir unter den zu verarbeitenden Symbolen zu verstehen? Nach einem der Begründer der Semiotik, Charles S. Peirce, besteht die wesentliche Funktion eines Zeichens in der Stellvertretung eines Objektes. Peirce (1983) unterscheidet drei Kategorien von Zeichen: den „Index“,

■ **Abb. 3.5** Ein grobes Schema verdeutlicht die Einbindung des Konstruktes „Information“. (Nach Favre-Bulle, 2001)



das „Ikon“ und das „Symbol“ (Peirce, 1983, S. 64). Ein Index verweist auf einen Gegenstand, er steht in einer Relation zu seinem Objekt (Signifikat) und beide müssen existenziell vorhanden sein: ein verkohlter Baumstamm verweist auf einen erloschenen Waldbrand oder ein Pfeil auf einen Gegenstand. Das wesentliche Merkmal eines Ikons ist seine bildhafte Entsprechung mit dem bezeichneten Gegenstand: zwei Figuren in einem Rechteck als Ikon für „Personenaufzug“. Zu den Ikons gehören neben solcherlei Bildern auch Diagramme oder Metaphern. Die Beziehung des Symbols zum Objekt wird durch Regeln, den Code, festgelegt, die nicht unbedingt anschaulich sein müssen, z. B. die Farbe Grün für „Weiterfahren“. Dies bezeichnet eine semantische Funktion des Zeichens (Krause, 1982; Peirce, 1983). Die Bedeutung des Zeichens wird anhand des schon vorhandenen Codes durch den Empfänger interpretiert. Eine weitere wichtige Unterscheidung sieht Peirce (1983) in der Beziehung der Zeichen zur Repräsentation. Stellt ein Zeichen einen Einzelausdruck dar, wird dies als „Rhema“ betitelt. Ein Satz, z. B. „Die Erde ist rund“, bildet ein „Dicent“ (Favre-Bulle, 2001). Als Drittes führt Peirce das „Argument“ auf, dies verkörpert komplexe Gedankengänge. Argumente können nach Peirce weder Indizes noch Ikons sein, sondern immer nur Symbole. Ein Argument ist entweder eine Deduktion, Induktion oder Abduktion (Hussy, 1984, 1986; Oberauer, 1993; Peirce, 1983). Das gesamte System von Codes und den darüber ablaufenden Prozeduren wird nun als Repräsentation verstanden. Diese Sichtweise hat dazu geführt, dass Posner (1973) in einem Organismus von „internen Codes“ spricht, die später als „interne Repräsentationen“ bezeichnet worden sind (Glaser, 1991).

3.2.3 Informationsverarbeitung der höheren kognitiven Funktionen – Inferenzen

Unter Schlussfolgerungen und Urteilen, versteht man die Ableitung von Informationen aus vorhandenen Informationen (Hussy, 1986; Meer, 1985), auch als Inferenzen bezeichnet. Wir greifen hierzu das von Peirce (1983) genannte Schlussfolgern und Urteilen in Form von Induktion und Deduktion auf und betrachten zusätzlich das Konstrukt des analogen Schließens.

■ Deduktion

Das deduktive Denken ist durch die vorhandenen Informationen vollständig determiniert, die Relationen in den Informationen sind vollständig formal-logisch definiert (Hussy, 1984; Ziegler, 1990). Wir ordnen diesem Denken das syllogistische und das propositionale Schließen zu. Syllogismen verwenden zwei Prämissen und eine Schlussfolgerung (Konklusion). Wichtig sind die syllogistischen Quantoren:

- a. „Alle“,
- b. „Einige“,
- c. „Keine“ und
- d. „Einige nicht“.

Die Prämissen sind als wahr definiert). Ein Beispiel für syllogistisches Schlussfolgern wäre: „Alle Welpen sind Hunde. Alle Hunde sind Tiere. Folglich: Alle Welpen sind Tiere.“ Das propositionale Schlussfolgern, man spricht auch vom aussagenlogischen oder konditionalen Schlussfolgern, greift ebenfalls auf zwei Prämissen und eine Konklusion zurück. Eine Proposition wird hierbei als kleinste Bedeutungseinheit verstanden (Bredenkamp, 1998). Die beiden Prämissen unterteilen sich in eine Majorprämisse: „wenn p, dann q“ (Voraussetzung) und eine Minorprämisse: „p“ (Konsequenz). Hierzu ein Beispiel: „Majorprämisse: Entweder es scheint die Sonne oder es

ist bewölkt. Minorprämisse: Es scheint die Sonne. Schlussfolgerung: Es ist nicht bewölkt.“ Die beiden Aussagen der Majorprämisse werden durch Junktoren gebildet:

- a. „und“,
- b. „oder“,
- c. „entweder-oder“,
- d. „wenn-dann“,
- e. „genau dann, wenn“ und
- f. „nur dann, wenn“.

Die Schlussfolgerung ist dann die jeweils andere Aussage oder die Negation dieser Aussage (Hussy, 1986).

■ Analoges Schlussfolgern

Bei der Analogie findet man meist wieder zwei Prämissen, wobei die erste Prämisse bestimmte Relationen vorgibt. Die zweite Prämisse muss nun in Relationen zur ersten auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft oder adäquat ergänzt werden (Holyoak, 2005; Hussy, 1986; Wenke, 2006). Hierzu ein Beispiel: „Erste Prämisse: Washington verhält sich zu Eins. Zweite Prämisse: Lincoln verhält sich zu Fünf. Schlussfolgerung: wahr.“ Hier wird deutlich, dass auf subjektive Informationen zurückgegriffen werden muss. Der Empfänger kann eine geforderte Relation erkennen, die chronologische Ordination der Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika, oder eine völlig andere Relation interpretieren, Washington sei das erste Kind seiner Eltern gewesen. Es müssen also Relationen aus den objektiven Informationen extrahiert und auf einen anderen Gegenstand transferiert werden. Dieses Verfahren findet oft Anwendung bei der Übertragung von Wissen aus einem Sachverhalt auf einen weniger bekannten Sachverhalt (Dörner et al., 1983).

■ Induktion

Im Gegensatz zum deduktiven Schlussfolgern ist bei der Induktion nicht mehr eine vollständige Determination durch die vorhandene Information gegeben, vielmehr muss hier die objektive Information durch subjektive Information angereichert werden. Es besteht eine gewisse Unsicherheit, sodass auch von einem Wahrscheinlichkeitsurteil gesprochen wird. Die Ableitung ist nicht mehr eindeutig kodiert. Es entstehen Schlussfolgerungen, die nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zutreffen. Der Induktion kann man die Kategorisierung, die damit verbundene Diskriminierung und die Kontingenzzurteile zuordnen (Hussy, 1986; Fiedler & Plessner, 2006; Klauer, 1992; Mayer, 1992). Bei der Kategorisierung wird ein Exemplar auf der Grundlage von Merkmalen einer Kategorie zugeordnet, z. B. ein Hund mit bestimmten Merkmalen einer bestimmten Hunderasse. Bei Kontingenzzurteilen werden bestimmte Zusammenhänge eingeschätzt, wie etwa der Zusammenhang von regelmäßigem Sport und körperlichem Wohlbefinden. Bei der Induktion wird davon ausgegangen, dass die gegebenen Informationen (Prämissen) mit Informationen angereichert werden, sodass das Resultat des Induktionsprozesses semantisch reichhaltiger ist als die Prämisse (Favre-Bulle, 2001). Diese Form der Inferenz nähert sich stark dem problemlösenden Denken. Während die Deduktion ein Vorgehen nach Algorithmen zulässt (Mayer, 1992), benötigt die Induktion eine Methode, die wir in ► Kap. 4 unter dem Begriff der Heuristik betrachten werden.

Die aufgezeigten Prozesse führen uns eine immer stärkere Anbindung der Informationen an ein kognitives System und die gleichzeitige Ordnung der Informationen im Empfänger vor Augen. Dieses System wollen wir nun näher betrachten.

3.3 Architekturen der Kognition

Kognition bedeutet nach den bisherigen Ausführungen nicht erst die Erkenntnis, sondern bezieht sich auch auf die Prozesse, die den Menschen zur Erkenntnis führen. Ob es sich hierbei um das Erkennen eines visuellen Objektes handelt oder die hohe Leistung der Erkenntnis einer Lösung eines Problems, ist zunächst noch nicht von Relevanz (Hussy, 1998). Die Turing-Maschine hat uns modellhaft aufgezeigt, wie sich der Prozess der Informationsverarbeitung in die zwei Teile der a) Informationsspeicherung und der b) Informationsauswertung, -verarbeitung und -veränderung zergliedert (Newell & Simon, 1972; Mayer, 1992). Problemlösen als menschliche Informationsverarbeitung geht weit darüber hinaus. Um die Personenmerkmale genauer zu betrachten, gehen wir nun auf die wichtigsten Modelle ein, die uns das höchste aller kognitiven Systeme näher bringen. Anstatt die Modelle untereinander stark zu differenzieren, greifen wir Aspekte heraus, die uns nahezu ein hybrides Modell vor Augen führen können. Dörner (1979) spricht anfänglich vom „kognitiven Apparat“, Hussy (1983) vom „Struktur- und Prozeßmodell menschlicher Informationsverarbeitung“ oder kurz „SPIV“ und Anderson von der „Architecture of cognition“ (1983), wobei er sich auf den Term „cognitive architecture“ nach Newell bezieht. Es ist keineswegs syllogistisch, wenn man anmerkt, dass nur ein komplexes System ein anderes komplexes System und sich selbst erkennen kann (Mainzer, 2008).

■ Elementarprozesse

In  Abb. 3.5 wird der Zusammenhang von Information und Wissen in den Dimensionen der Bindung an ein kognitives System und der Strukturiertheit aufgezeigt. Wie kann diese Bindung der Information an das kognitive System betrachtet werden? Dörner (1974) geht davon aus, dass im „Medium kognitiver Prozesse“ (Dörner, 1974, S. 186) der Prozess des Problemlösens in einem Netzwerk von miteinander verknüpften Grundelementen (GEL) stattfindet. Dörner bezieht sich hierbei auf das Konzept des „abstrakten Neurons“ nach McCulloch und Pitts (1943). Er benennt vier Elementarprozesse („Feldprozesse“): Aktivieren, Hemmen, Verknüpfen und Entknüpfen (Dörner, 1974). Ein solches Netzwerk hat über diese Elementarprozesse die Möglichkeit, ein Gedächtnis auszubilden. Die Information aus der Umwelt kann an das kognitive System gekoppelt und in diesem über komplexe Denkprozesse, wie das logische Schließen, Abstrahieren, Konkretisieren, Vergleichen oder Klassifizieren verändert werden.

■ Netzwerk

Das biologische Gehirn stellt mit seiner neuronalen Struktur ein parallelvernetztes System dar. Der Neurophysiologe Kandel (1996) untersuchte hierzu bereits in den 1970er-Jahren das Nervensystem der Meeresschnecke (*Aplysia californica*) und konnte synaptische Veränderungen mit Prozessen der Informationsverarbeitung in einen konkreten Zusammenhang bringen. Aus diesen Prinzipien entstanden künstliche neuronale Netze, wie das Hopfield- (Hopfield, 1982) oder das Kohonen-Netzwerk (Kohonen, 1982). Anstatt die neurophysiologischen Grundlagen dieser Netzwerke zu vertiefen, gehen wir auf einen anderen Aspekt der Netzwerkstrukturen ein. Im Zusammenhang mit der Kodierung von Wortbedeutungen ist der Name Quillian schon einmal erwähnt worden. Auf Quillian (1969) geht die Einführung des „semantischen Netzes“ zurück. Ein semantisches Netzwerk baut sich aus zwei Komponenten auf:

- a. Knoten, die einzelne Begriffe verkörpern, und
- b. gerichtete Bögen, die Beziehungen der Begriffe herstellen (Anderson, 1983; Favre-Bulle 2001; Hussy, 1984; Vaterrodt-Plünnecke & Bredenkamp, 2006).

Die Bögen binden nun Eigenschaften, Prädikate und Beziehungen an die Knoten und schaffen damit Zusammenhänge. Dieses Modell erlaubt die Möglichkeit, Begriffe in einer ökonomischen Hierarchie anzuordnen. So wären z. B. in der Aussage „Ein Hund kann bellen“ die Knoten auf einer gleichen Ebene. In der Aussage „Ein Hund kann atmen“ hingegen liegt „atmen“ auf einer höheren Ebene, der von Lebewesen. Durch einen einfachen Schritt lassen sich semantische Netze in neuronale Netze überführen. Die Knoten werden durch Neuronen ersetzt und aus den Bögen entstehen „Bindeneuronen“ (Favre-Bulle, 2001, S. 73). Man geht davon aus, dass ein Konzept nicht durch ein einzelnes Neuron vertreten werden kann, daher spricht man hier auch vom Neuronencluster. Diese bilden nun Informationseinheiten. Der wesentliche Unterschied zu den semantischen Netzen besteht darin, dass die Bedeutung der Bögen auch durch Knoten abgebildet wird. Das hier vorgestellte Netzwerk wird oftmals als eine mögliche Teilstruktur des Langzeitgedächtnisses angesehen. Wir wollen die Einbettung dieser Struktur in ein übergeordnetes System nun genauer betrachten.

3.3.1 MEKIV

Das Rahmenmodell zur elementaren und komplexen menschlichen Informationsverarbeitung „MEKIV“ (Hussy, 1992) unterteilt ein System der Informationsverarbeitung in spezielle Strukturen und ihre Relationen, den Informationsflüssen. Für einen ersten Überblick betrachten wir **Abb. 3.6**.

■ Heuristische Struktur

Wir haben bereits den Begriff der maximalen Entropie mit einem Schema in Zusammenhang gebracht. Über die Verarbeitung von Informationen entstehen erste endliche Schemata. Piaget (1977) spricht hierbei von einem Akkomodationsprozess, die Neukonstruktion oder Erneuerung eines Schemas. Dörner geht davon aus, dass diese Akkomodationswerkzeuge (Dörner, 1979, S. 27), auch Heurismen genannt, in einer eigenen Gedächtniskomponente liegen, die er als heuristische Struktur (HS) bezeichnet. Hussy spricht diesem Bereich das Veränderungswissen zu (Hussy, 1984, 1998). Die heuristische Struktur bildet das Herzstück eines Problemlöseprozesses und somit der menschlichen Informationsverarbeitung. Mit dieser Komponente werden die Informationen über die Elementarprozesse weiterverarbeitet. Über produktives Denken kann

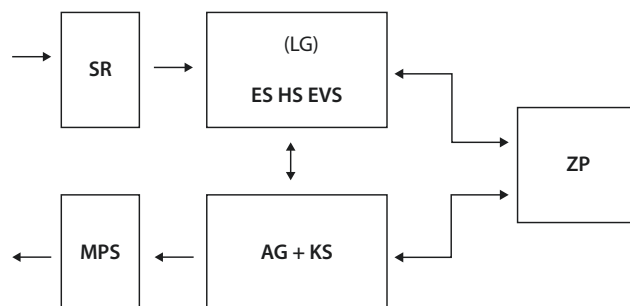


Abb. 3.6 Zu sehen sind die wichtigsten Komponenten von MEKIV in Form eines Blockschaltbildes. Der zentrale Prozessor (ZP) stellt die Schnittstelle zwischen Langzeitgedächtnis (LG) und Arbeitsgedächtnis (AG) dar, ein automatisierter Informationsaustausch kann auch ohne ZP zwischen diesen Komponenten bestehen. ES epistemische Struktur HS heuristische Struktur EVS evaluative Struktur, KS Kurzzeitspeicher, MEKIV Rahmenmodell zur elementaren komplexen menschlichen Informationsverarbeitung, MPS motorisches Programmsystem, SR sensorisches Register

aus einer Information neues oder erneuertes Wissen konstruiert werden. Insgesamt umfasst die heuristische Struktur nach Dörner einen Analysator für die Eigenschaften von Problemen und Aufgaben, einen Speicher für Lösungsmethoden (Heurismen) und ein Kontrollsystem, das den Erfolg der Anwendung von Lösungsverfahren bewertet (Dörner, 1979; Hussy, 1984, 1998). Hussy (1984) überträgt die Funktionen der Analyse und Kontrolle einem zentralen Prozessor (ZP). Ist das Wissen zur Lösung eines Problems schon im Gedächtnis vorhanden, so ist das Problem lediglich eine Aufgabe, dieses Wissen ist in einer anderen, der epistemischen Struktur abgelegt.

■ Epistemische Struktur

Die epistemische Struktur (griech. episteme = Wissen) beinhaltet fertige Schemata. Dörner (1979) teilt dieser Struktur das Vermächtnis zur Abbildung bestimmter Realitätsbereiche zu. Er lehnt die epistemische Struktur (ES) den semantischen Netzen an und spricht bei den Beziehungen der Begriffe zu ihren Inhalten von drei großen Gruppen der Relationen:

- a. Teil-Ganzes-Relationen: „besteht aus; hat“,
- b. Abstraktheitsrelationen: „ist ein“ und
- c. raum-zeitlichen Relationen: „ist um-angeordnet; folgt auf“.

Die Begriffsinhalte können sowohl Sachverhalte oder Objekte (z. B. „Sauerstoff“ oder „Haus“), aber auch Handlungsprogramme, nach Schank u. Abelson (1977) auch als Skripte zu bezeichnen (z. B. „schwimmen“), darstellen. Erst deren Gesamtmenge wird von Dörner als inneres Abbild betrachtet; interessanterweise bezeichnet er dies als „Komplexion“ (Dörner, 1979, S. 33). Die ES dient demnach dem Lösen von Aufgaben im Unterschied zum Lösen von Problemen. Das abgerufene Handlungsprogramm zur Bewältigung einer Situation kann mit dem bereits erwähnten Algorithmus verglichen werden (Hussy, 1984). Man könnte vage formulieren, dass nach dem Lösen eines Problems aus einem Heurismus der heuristischen Struktur ein Algorithmus in der epistemischen Struktur entstanden ist. Das Individuum löst mit dieser Struktur Aufgaben in einem Realitätsbereich rein reproduktiv (Dörner, 1979). Dörner betont, dass der überwiegende Teil des alltäglichen Verhaltens eines Erwachsenen über die ES gesteuert wird; sie liefert die ständigen „Assimilationswerkzeuge“. Insgesamt kann in dieser Struktur von einem Faktenwissen gesprochen werden.

■ Evaluative Struktur

Die evaluative Struktur (EVS) wird von Hussy (1983) als Erweiterung im SPIV-Modell den beiden Strukturen HS und ES ergänzend hinzugefügt. Diese Struktur enthält Bewertungskriterien bzw. Bewertungswissen, die Evaluatoren. Diese Struktur vermag es zu entscheiden, ob ein Problem oder eine Aufgabe vorliegt (Hussy, 1983), da sie nach dem Prinzip der TOTE-Einheit die eingehenden Informationen auf die Diskrepanz zwischen Ist- und Soll-Zustand hin überprüft. Zusätzlich determiniert diese Struktur die Auswahl und den Wechsel von Teil- und Zwischenzielen (Hussy, 1989, S. 86). Diese Struktur greift weit über kognitive Aspekte hinaus und bildet eine wesentliche Schnittstelle zu emotionalen Aspekten (Hammerl & Grabitz, 1997).

■ Zentraler Prozessor

Dem zentralen Prozessor (ZP) wird die Aktivierung und Steuerung des Zusammenwirkens aller Komponenten des kognitiven Apparates zugeschrieben. Betont wird, dass durch dieses Element nicht alle Informationen fließen; vielmehr werden über dieses Element die Entscheidungen getroffen, die den Informationsfluss determinieren (Hussy, 1984; Fletcher, 2005). In Erweiterung zu Dörner (1979) hat der ZP die Analyse- und Entscheidungsfunktionen der HS übernommen. Vom ZP geht eine gezielte und bewusste Verarbeitung der Informationen aus. Ihm wird die

Steuerung der Prozesse der Aufmerksamkeit als Kontrollinstanz zugeschrieben. Er bildet die zentrale Schnittstelle zwischen den Langzeitgedächtniskomponenten HS, ES und EVS und dem Arbeitsgedächtnis (AG). Hussy betont, dass vormals kontrollierte kognitive Prozesse durch intensives Training automatisiert werden können. Diese automatisierten Prozesse benötigen keine Aufmerksamkeit (Hussy, 1998, S. 82). Diesem Prinzip entsprechen nach Anderson die sog. Produktionen. Die Aspekte seiner Architektur wollen wir nun genauer betrachten. Anschließend werden wir auf die Struktur „Arbeitsgedächtnis“ eingehen.

3.3.2 ACT-R

Die Modellvorstellung der menschlichen Kognition nach Anderson (1983) trägt den Namen „ACT“ für „Adaptive Control of Thought“ und wird von Anderson als Produktionssystem klassifiziert (Anderson, 1983, S. 5), das sich in der Tradition der Produktionssysteme nach Newell u. Simon (1972) versteht. ACT wurde von Anderson sukzessiv erweitert und wurde durch verschiedene Indizes „ACT*“ (Anderson, 1983) oder „ACT-R“, („R“ für rational; Anderson, 1993), gekennzeichnet.

Das Fundament der Theorie besteht aus 14 Axiomen (Anderson, 1983, S. 22f.), auf die wesentlichen Aspekte (Fletcher, 2005) werden wir nun eingehen:

0. **„Technical time assumption“.** Diese technische Voraussetzung ist für die computergetstützte Modellierung von Bedeutung. Sie geht davon aus, dass die Zeit (t) kontinuierliche Werte annehmen kann.
1. **„Basic architectural assumption“.** Es wird ein prozedurales Gedächtnis bestimmt, das mit den Wissensbeständen eines deklarativen Gedächtnisses operiert. Das deklarative Gedächtnis wird als semantisches Netzwerk verstanden und das prozedurale Gedächtnis ebenfalls als Netzwerkstruktur. Im prozeduralen Gedächtnis wird Wissen in Form von Produktionsregeln gespeichert. Anderson geht davon aus, dass die Produktionsregeln den Informationsfluss zwischen Arbeitsgedächtnis (AG) und Langzeitgedächtnis (LZG) steuern. Das prozedurale Gedächtnis kommt somit dem zentralen Prozessor (ZP) im MEKIV sehr nahe. Während das deklarative Wissen durch die Enkodierung der Information aus der Umgebung kommt, wird das prozedurale Wissen aus dem deklarativen Wissen heraus durch Übung kompiliert (Anderson, 1993, S. 22).
2. **„Declarative representation“.** Das deklarative Wissen wird durch ein hierarchisches Netzwerk von kognitiven Einheiten gebildet, das Anderson (1993) in einem noch spezielleren Sinne als Miller (1956) als Chunks bezeichnet. Chunks können als schemaartige Strukturen mit Feldern, die wiederum andere Chunks enthalten, betrachtet werden. Diese Einheiten können aus maximal fünf Elementen bestehen. Anderson geht von drei Typen kognitiver Einheiten aus:
 - a. **„Temporal strings“.** Diese zeitlichen Strings repräsentieren sequenzielle Informationen, eine geordnete Aufeinanderfolge von Objekten oder Ereignissen.
 - b. **„Spatial images“.** In räumlichen Bildern werden geometrische Konfigurationen von Objekten repräsentiert.
 - c. **„Abstract propositions“.** Bei den Propositionen geht Anderson von symbolischen Repräsentationen aus, die Beziehungen zwischen Begriffen in semantischen Netzwerken bezeichnen. Hier werden Bedeutungen festgehalten.
3. **„Activation of declarative memory“.** Es wird postuliert, dass eine Wissensseinheit zu keinem Zeitpunkt einen negativen Aktivationsgrad haben kann. Andersons Vorstellung des Arbeitsgedächtnisses geht von einem Ein-Speicher-Modell der Gedächtnisstruktur aus.

Das Arbeitsgedächtnis (AG) wird aus den Wissens-elementen mit dem aktuell höchsten Aktivationsgrad gebildet. Eine Begrenzung des AG sieht Anderson nicht in der Kapazität, sondern im Zugriff auf das Wissen des deklarativen Gedächtnisses. Aktuelle Informationen sind aktiv, ältere Gedächtnisinhalte müssen aktiviert werden. Das AG nimmt somit eine temporäre Struktur innerhalb der Elemente im deklarativen LZG an (Anderson, 1993, S. 19).

4. **„Strength in declarative memory“.** Anderson definiert die Stärke der Aktivität einer kognitiven Einheit in mathematischer Form. Hierbei verlässt Anderson die symbolische Ebene und geht auf eine subsymbolische Ebene ein (Schoppek, 2003).
5. **„Spread of activation“.** Auch das Aktivationsverhalten wird über mathematische Gleichungen definiert und wird hier nicht weiter vertieft. Wesentlich ist, dass sich der Aktivationsgrad eines Knotens aus der Stärke des Inputs und des aktuellen Eigenzustandes ergibt und in Abhängigkeit von der Zeit exponentiell auf einen Basiswert absinkt.
6. **„Maintenance of activation“.** Bei der Aufrechterhaltung der Aktivierung von Netzwerk-knoten geht Anderson davon aus, dass jedes neue Element, das in das AG gelangt, eine Quelle der Aktivierung ist. Es ist nicht erheblich, ob das Element über die Wahrnehmung oder über Produktionsregeln in das AG gelangt. Interessant ist die Annahme von Zielelementen, die für eine längere Zeit eine Quelle der Aktivierung darstellen können. Sie können während eines kompletten Problemlösevorgangs aktiv bleiben. „The only element that sustains activation without rehearsal is the goal element.“ (Anderson, 1983, S. 118f.). Es kann allerdings immer nur ein Zielknoten („single goal element“) aktiv sein.
7. **„Decay of activation“.** Der Zerfall der Aktivierung wird noch einmal betont.
8. **„Structure of productions“.** Es wird der Aufbau der Produktionsregeln erklärt. Diese bestehen aus einem Bedingungsteil (Wenn-Teil) und einem Aktionsteil (Dann-Teil), die mit dem deklarativen Wissen zusammenarbeiten. Stimmen die Bedingungen mit den Fakten im AG überein, wird der Aktionsteil der Produktionsregel ausgeführt. Der Aktionsteil legt fest, welche Elemente bei der Ausführung dem AG hinzugefügt werden. Das Wissen im AG entspricht nach Anderson immer deklarativem Wissen, das von den Produktionen „gelesen“ werden kann (Anderson, 1993, S. 19).
9. **„Storage of temporal structures“.** Es besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass ein Wissens-element aus dem AG ins LZG übertragen wird, wenn dieses dort noch nicht vorhanden ist. Ist das Element bereits im LZG vorhanden, wird seine Aktivationsstärke um eine Einheit erhöht.
10. **„Strength of productions“.** Analog zu den Wissens-elementen des deklarativen Netzwerkes erhöht sich die Stärke einer Produktionsregel bei erfolgreicher Anwendung um eine Einheit. Regeln mit höherer Stärke erlauben einen schnelleren Bedingungsvergleich. Dies ist eine der gemeinsamen Eigenschaften, die Anderson für die unterschiedlichen Wissens-inhalte postuliert, die Grundlage sieht er in der gemeinsamen neuronalen Implementation (Anderson, 1993, S. 22).
11. **„Production selection“.** Es wird das Konzept der Auswahl von Produktionsregeln beschrieben. Die Anwendung der Regel erfolgt bereits beim Vergleich der aktuellen deklarativen Elemente des AG mit dem Bedingungsteil der Regel. Die Bedingungen der Regeln werden durch die Knoten des prozeduralen Netzwerkes („pattern nodes“) gebildet. Bei einem Vergleich wird die Aktivierung der deklarativen Elemente auf das prozedurale Netzwerk übertragen. Wenn dabei eine hinreichende Übereinstimmung gefunden wird, kommt es zur Ausführung des Aktionsteils. Dieses Konzept erinnert stark an die bekannte TOTE-Einheit (Anderson, 1993, S. 7). Somit ergeben sich drei Faktoren, die die Ausführung einer Produktionsregel bestimmen:

- a. der Grad der Übereinstimmung zwischen Bedingungsteil und deklarativen Wissenselementen,
- b. die Aktivationsstärke der Produktion und
- c. der Grad der Spezifikation der Produktion.

Spezifische Produktionen werden grundsätzlich den allgemeinen vorgezogen: „If two or more productions match the same most recent element, then a test is performed to see which has the second most recent element, and so on. Should a tie remain after all elements have been matched, the specificity principle is applied. Essentially this principle says that the production with more condition elements is preferred.” (Anderson, 1983, S. 15)

12. **„Goal-directed processing“.** Anderson unterscheidet eine datengesteuerte Wissensverarbeitung von einer zielgesteuerten Wissensverarbeitung. Er sieht die zielgesteuerte Verarbeitung als primär an, sie erfolgt durch Zielelemente im Bedingungsteil der Produktionsregeln. Diese Zielelemente werden aufrechterhalten, bis sie bewusst aufgegeben oder verändert werden. Die Steuerung über die Datenstruktur verläuft hingegen indirekter. Anderson geht von einer Ziel-Hierarchie aus, die eine Abhängigkeit von Unterzielen zu ihren Oberzielen darstellt.
 „To what degree might the existence of complex hierarchical goal structures be a relatively unique primate or, more specifically, human trait? There is evidence that the prefrontal cortex is heavily involved in the kind of planning and problem solving that involves complex goal structures [...], and the prefrontal cortex becomes substantially larger as one moves along the phylogenetic scale toward homo sapiens.” (Anderson, 1993, S. 49).
 Anderson stellt eine direkte Verbindung zwischen einer Komplexität von Zielstrukturen (Anderson, 1996), der menschlichen Fähigkeit des Planens (Anderson, 1993b) und der Struktur des Neokortexes her.
13. **„Production compilation“.** Die Neubildung von Produktionsregeln versteht Anderson als Produktionsregelkompilierung, was als Erwerb von prozeduralem Wissen zu verstehen ist. Nach Anderson kann diese Neubildung durch zwei Prozesse erfolgen:
 - a. **„Composition“.** Unter der Komposition wird das Zusammenfassen von mehrfach erfolgreich ausgeführten Regeln zu einer einzigen verstanden.
 - b. **„Proceduralization“.** Bei der Prozeduralisierung wird aus einer Anzahl allgemeiner Produktionsregeln eine spezifisch neue Regel gebildet. Bei dieser Spezifizierung können z. B. lokale Variablen in Produktionsregeln durch konkrete Werte ersetzt werden.
14. **„Production tuning“.** Dieses Axiom beschreibt die Beschleunigung der Produktionsausführung ebenfalls durch zwei Prozesse:
 - a. **„Generalization“.** Bei der Generalisierung werden gleiche oder ähnliche Bedingungen zusammengefasst, die Anwendungsbreite der Produktion wird dadurch vergrößert.
 - b. **„Discrimination“.** Die Diskriminierung wirkt der Generalisierung genau entgegen; die Bedingungen werden spezifiziert und die Anwendungsbreite wird eingengt. Diese Prozesse werden durch die Stärkewerte bestimmt, jeder Erfolg führt zur Erhöhung des jeweiligen Stärkewertes.

■ Serialität

Das Prinzip der Seriell-Parallel-Wandlung ist uns bereits begegnet. Anderson geht auf diesen wichtigen Aspekt der Informationsverarbeitung ein:

- » By appropriately setting a goal, the system can prepare itself to process a certain line of information with maximum speed. Because of data refractoriness it will also inhibit alternate lines of processing. The fact that the system can only seek a single goal puts a

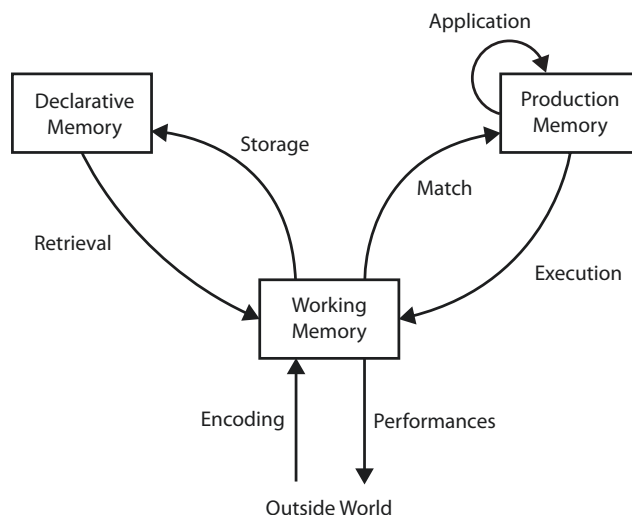
severe limit on how much can be done by goal-directed productions and makes this part of the system inherently serial. Thus, in its theory of goal management, ACT has a theory of focus of attention and an explanation of the seriality of higher-level cognition. It is interesting to speculate on why the system should be restricted to a single current goal and hence restricted to serial processing of what is most important. This may be a response to the limited capacity of system resources such as working memory and to the seriality of effectors, for examples, hands. (Anderson, 1983, S. 136)

Die Serialität der Informationsverarbeitung betrifft hier hauptsächlich die bewusste Informationsverarbeitung im AG, interessanterweise bezieht sich Anderson in einem Nebensatz auf den Aspekt der Manipulation von Formen durch die menschliche Hand, die zunächst als bewusster Prozess nur seriell ablaufen kann. Anderson stellt die Seriell-Parallel-Wandlung als wichtigen Schritt zwischen bewusstseinspflichtigen und automatisierten Prozessen heraus. Erst durch automatisierte Prozesse entwickeln sich alle höheren Fähigkeiten, wie die Objekterkennung oder die Formulierung von Sätzen während einer Konversation (Anderson, 1983, S. 15). Anderson bezieht sich in dieser zentralen Annahme auf die Ansicht Newells (1980) bzgl. der Produktionen. Newell unterscheidet Produktionen, die Variablen enthalten von solchen, die keine Variablen verrechnen; nur diese können ohne Restriktionen parallel verwendet werden. Die Variablen müssen hingegen in zeitlichen Instanzen seriell verarbeitet werden (Anderson, 1983, S. 16).

■ Working Memory

In **Abb. 3.7** sind die von Anderson postulierten Prozesse des AG im Zusammenspiel mit dem LZG abgebildet. Die Prozesse „encoding“ und „performance“ bilden über die Enkodierung von Informationen und der Einleitung von Verhalten die Schnittstelle zur Umwelt. Die Prozesse „storage“ und „retrieval“ können Informationen dem deklarativen LZG beständig hinzufügen oder auch vorhandene Informationen „stärken“ und Informationen aus dem deklarativen LZG abrufen. Über „match“ und „execution“ wird die Verbindung zum Produktionsteil des LZG hergestellt, es werden die Daten im AG mit dem Bedingungsteil der Produktionen abgeglichen und Produktionen ausgeführt.

Abb. 3.7 Die Abbildung stellt das ACT-Produktionssystem in seinen Grundstrukturen und Grundprozessen dar. ACT „Adaptive Control of Thought“. (Nach Anderson, 1983)



Andersons Modell kann aufgrund der starken Mathematisierung oftmals präzise Vorhersagen zu kognitiven Abläufen leisten. Das Modell bietet die Kombination wichtiger Aspekte der semantischen Netze im Zusammenhang mit Produktionssystemen an. Wir werden im nächsten Kapitel aus ACT heraus das Lösen von Problemen betrachten. Anderson (1996) betont, dass er mit ACT eine Schnittstelle zwischen den klassischen Produktionssystemen, nach Newell, und den Mehrspeichermodellen, als deren prominentester Vertreter das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley zu nennen ist, entworfen hat (Anderson, 1996). Nachdem der bisherige Blick auf das Zusammenspiel von LZG und AG lag, wollen wir nun das „Nadelöhr“ AG noch etwas genauer in den Fokus rücken.

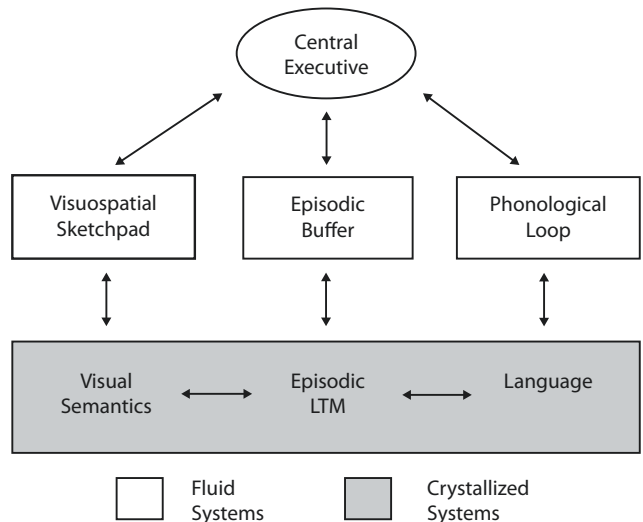
3.3.3 Working Memory

Das wohl bekannteste Modell zur modalen Sicht des Gedächtnisses geht auf Atkinson u. Shiffrin (1968) zurück. Hier finden wir eine Unterscheidung zwischen Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis als selbstständige Strukturen. Die bekannteste Unterteilung des Kurzzeitgedächtnisses wurde zweifellos von Baddeley u. Hitch (1974) als „three-component model of working memory“ (Baddeley, 2000, S. 417) eingeführt (■ Abb. 3.8): in einem AG regelt eine zentrale Exekutive („central executive“) einen Informationsfluss zwischen einer phonologischen Schleife („phonological loop“) und einem räumlich-visuellen Notizblock („visuospatial sketchpad“). Interessanterweise finden wir den Gebrauch des Begriffs Arbeitsgedächtnis schon bei Miller, Galanter & Pribram (1960).

■ „Phonological loop“

Baddeley geht aufgrund verschiedener Effekte von einer Komponente aus, die er als „phonologische Schleife“ bezeichnet. Diese nimmt akustische Informationen mit einer Speicherdauer von etwa 2 sauf. Auch sprachliche Informationen, die zunächst visuell vorliegen, werden nach einer Rekodierung ebenfalls hier repräsentiert. Messungen sprechen für eine Kapazität von sieben Informationseinheiten, die durch einen Prozess namens „rehearsal“, einer Art innerer Wiederholung der Informationseinheiten, aufrechterhalten werden. Es ist wichtig anzumerken, dass die

■ **Abb. 3.8** Das Modell zum Arbeitsgedächtnis nach Baddeley umfasst neben zwei unimodalen Subsystemen als jüngste Komponente ein multimodales Subsystem, den sog. *episodischen Buffer*. LTM „longtime memory“. (Nach Baddeley, 2000, S. 418)



Informationen nicht ausschließlich über die Aufmerksamkeit in diese Komponente gelangen. Die Informationen müssen auf dieser Ebene noch über keinen semantischen Gehalt verfügen (Baddeley, 2000, 2003).

■ „Visuospatial sketchpad“

Die Verarbeitung und Organisation von visuellen Informationen spricht Baddeley der Komponente des „räumlich-visuellen Notizblockes“ zu (Baddeley, 2003). Diese Komponente wurde durch Logie (1995) weiter spezifiziert, visuelle Informationen wie Farbe oder Form werden in einem „visual cache“ gespeichert. Für Informationen zum Raum und zur Bewegung von Objekten ist ein „inner scribe“ zuständig, zudem übernimmt er die Funktion des „rehearsals“ im „visual cache“. Im Vergleich zur phonologischen Schleife gestaltet sich der experimentelle Zugang zu dieser Komponente wesentlich schwieriger, sodass die Informationen noch relativ grob umschrieben sind.

■ „Central executive“

Die Komponente der „zentralen Exekutive“ wird ähnlich wie der „zentrale Prozessor“ im MEKIV als Kontroll- und Steuerungssystem der Subsysteme verstanden. Sie regelt die

- a. Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Informationen,
- b. Koordinierung mehrerer Aufgaben und Ziele,
- c. Planung und Kontrolle der Ausführung von Aufgaben,
- d. Aktualisierung der Inhalte des AG und
- e. Ausführung der raum-zeitlichen Kodierung von Informationen (Baddeley, 2003).

Eine Anzahl an Effekten spricht für die Spezialisierung des AG in diese multicodalen Subsysteme. Baddeley (2000) hat ein Problem bei der Zusammenführung von Informationen zu Chunks erkannt, die neben der Verbindung von unterschiedlichen Kodierungen gerade die Anbindung von Informationen aus dem LZG erfordern:

- » This emphasizes once again the question of how information from different sources is integrated, raising the additional question of where the chunks are stored: are they held in the phonological loop, in LTM or in some third back-up store? (Baddeley, 2000, S. 419)

Sein bisheriges Modell musste um eine wesentliche Komponente erweitert werden: den „episodic buffer“.

■ „Episodic buffer“

Baddeley interessiert sich in den letzten Jahren für die Fähigkeit, gefestigtes Wissen aus den Strukturen des LZG abzurufen und hieraus mit Informationen aus dem AG neue Strukturen zu kreieren:

- » It is not clear, however, how simple reactivation of old knowledge is capable of creating new structures, which can themselves be manipulated and reflected upon. (Baddeley, 2000, S. 420)

Eine Fähigkeit, die zweifelsfrei für unsere Betrachtung des problemlösenden Denkens wichtig sein wird. Er führt das Beispiel eines „eishockeyspielenden Elefanten“ ein. Während uns sowohl prozedurale als auch deklarative Informationen zum Eishockeyspielen und zum Elefanten vorliegen, bedeutet ihre Kombination eine Herstellung völlig neuer Informationen aus vorliegenden Informationen (Baddeley, 2000, S. 420). Relativ schnell kommen bei der Vertiefung dieses mentalen Modells erste Fragen auf, z. B. wie er den Stock halten würde und welches die beste Spielposition

wäre. Die wirkliche Frage stellt sich allerdings nach der Komponente, in der diese Informationsverarbeitung stattfinden kann. Die bisherigen modalitätsspezifischen Subsysteme seines Modells bieten hierzu keine Möglichkeit. Eine Verarbeitung im LZG läge demnach nahe, kann allerdings aufgrund empirischer Effekte ausgeschlossen werden. Baddeley führt nun den „episodischen Buffer“ (EB) als Struktur ein, in der Informationen aller Subsysteme in einem multimodalen Code zusammengeführt werden können. Er vermutet hier zentrale Funktionen des Zusammenspiels von Bewusstsein und Gedächtnis. Er betont eine Ähnlichkeit mit dem episodischen Gedächtnis nach Tulving (1983) bzgl. der zeiträumlichen Integration von Informationen, grenzt den episodischen Buffer aber aufgrund seiner begrenzten Kapazität eindeutig hiervon ab. Der EB bietet die Möglichkeit, multimodale Cluster und somit Schemata verschiedener Abstraktionsebenen zu bilden. Baddeley (2000) spricht hier auch von „integrierten Episoden“ oder „Szenen“. Die zeiträumliche Verarbeitung von Information führt uns zudem direkt zur bereits erwähnten Seriell-Parallel-Wandlung und ihre Bedeutung bei der Bildung von Produktionen zurück.

» This allows multiple sources of information to be considered simultaneously, creating a model of the environment that may be manipulated to solve problems and plan future behavior. (Baddeley, 2002, S. 92)

Es ist geradezu spannend, dass diese Komponente von Baddeley zum einen mit den hohen kognitiven Funktionen des Planens und Problemlösens in Zusammenhang gebracht wird und zusätzlich in einem Zusammenhang zum episodischen Gedächtnis steht. Der planende und problemlösende Mensch muss seine eigenen Handlungen reflektieren und in die Berechnungen während des Problemlösens mit aufnehmen.

Diese Komponente scheint eine zentrale Möglichkeit zu bieten, Selbstbewusstsein und Informationen in einen zeiträumlichen Zusammenhang zu bringen. Diesen Zusammenhang wollen wir als Situation bezeichnen. Die Zusammenführung eines komplexen Systems und einer kognitiven Architektur in einer Situation wird uns in ► Kap. 4 beschäftigen und uns zum problemlösenden Denken führen.

Web-Exkurs

Kognitive Architekturen

Die kognitive Architektur ACT-R nach John R. Anderson existiert nicht nur als theoretisches Modell, sondern ist vollständig in der Software ACT-R implementiert. Um erste Schritte aus der Theorie heraus in die Praxis zu gehen, befindet sich auf der Website zum Buch in Koordination mit John R. Anderson und Dan Bothell erstmalig eine deutsche Version des einführenden Tutorials zu „Adaptive Control of Thought – Rational“. Dieses Tutorial ermöglicht bereits das Erstellen eines ersten eigenen Modells am Computer (Windows und iOS). Die Kombination aus Empirie, Theorie und Praxis in ACT-R gilt auch heute noch als eines der ambitioniertesten Forschungsprogramme der Kognitionswissenschaften. Das Anwendungskapitel soll einen ersten Schritt in dieses faszinierende Projekt ermöglichen (► <http://www.lehrbuch-psychologie.de>).

Weiterführende Literatur

- Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. New Jersey: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (2010). *How can the human mind occur in the physical universe?* New York: Oxford University Press.

- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C. & Qin, Y. (2004). An integrated theory of mind. *Psychological Review*, 111, 1036–1060.
- Bothell, D. & Anderson, J. R. (2014). *The ACT-R 6.1 Tutorial*. Website on Pittsburgh: Carnegie Mellon University.
- Kandel, E. R. & Squire L. R. (2009). *Gedächtnis*. Heidelberg: Spektrum.
- Norvig, P. (1992). *Paradigms of artificial intelligence programming: Case Studies in Common LISP*. San Mateo: Kaufmann.
- Pritzel, M., Brandt, M. & Markowitsch H. J. (2003). *Gehirn und Verhalten*. Heidelberg: Spektrum.
- Seibel, P. (2005). *Practical Common Lisp*. Berkeley: Apress.

Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel hat uns zunächst einen Einblick in das Paradigma der Kybernetik und der zentralen Einheit, der TOTE-Schleife, gewährt. Anschließend sind wir dem Konstrukt der Information nachgegangen und konnten die Prinzipien der Entropie und der Redundanz kennenlernen. Die Begriffe der Kodierung und des Algorithmus sind uns verdeutlicht worden und wir sind anschließend der Semiotik begegnet, mit deren Konzepten wir ein Verständnis für die Prozesse der Inferenz aufbauen konnten. Die drei großen kognitiven Architekturen MEKIV nach Walter Hussy (1984), ACT-R nach John R. Anderson (1983) und das Mehrkomponentenmodell nach Alan Baddeley (1974) konnten detailliert betrachtet werden. Besonders die Komponente des episodischen Buffers wird für das problemlösende Denken als zentrale Komponente betrachtet.

Problemlösen: Problemlösendes Denken als Informationsverarbeitung

4.1 Situation – 46

4.1.1 Situationstheorie und potenzielle Information – 47

4.1.2 Intransparenz – 47

4.1.3 Polytelie – 48

4.2 Der Problemraum – 50

4.2.1 Dimensionen von Information – 50

4.2.2 Biologischer Code und kultureller Code im Problemraum – 57

4.2.3 Neuer Code im Problemraum – 59

4.3 Problemlösendes Denken – vom Problemraum zum Planungsraum – 71

4.3.1 Die Selektion als Transformation – 75

4.3.2 Von der Episode zu den Epistemen – 86

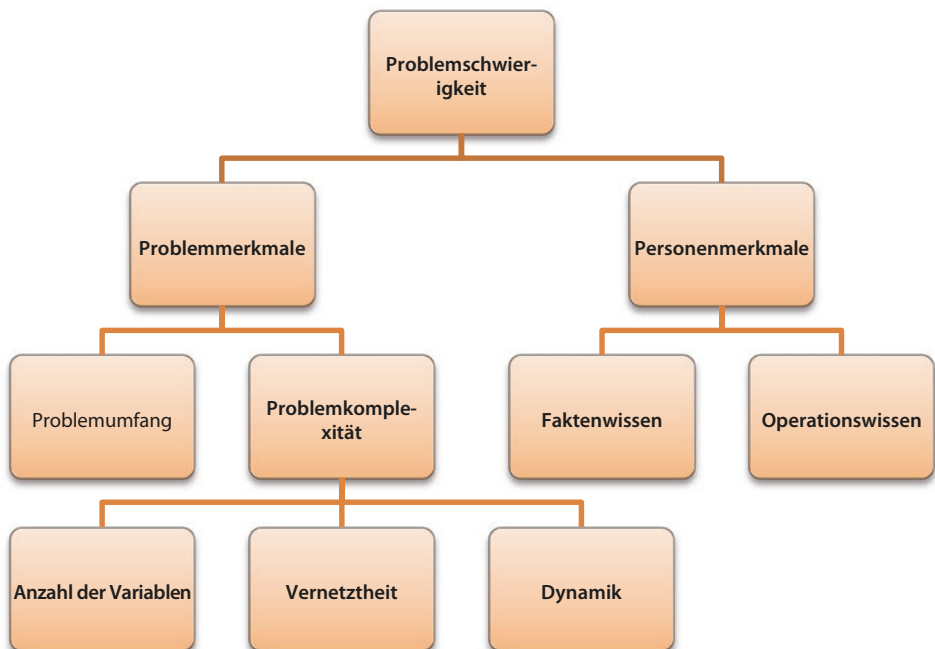
4.4 Problemlösendes Denken in komplexen Systemen – 102

Auch wenn es fast unmöglich erscheint, so haben wir bisher versucht, Problemmerkmale und Personenmerkmale weitestgehend unabhängig voneinander zu betrachten. In ► [Kap. 4](#) wird es darum gehen, diese Merkmale zusammenzuführen. Das Zusammenkommen von Problemmerkmalen und Personenmerkmalen wollen wir als Situation bezeichnen. Funke (2003) spricht in seiner Taxonomie von bestimmten Eigenschaften, die eine Situation mit sich bringt und bezeichnet diese als „Situationsmerkmale“ (Funke 1990, 2003; Fritz & Funke, 1995). Die modifizierte Abbildung nach Hussy (1998; ■ [Abb. 4.1](#)), gibt uns vorab noch einmal die Möglichkeit, auf den bisherigen Stand zurückzuschauen. Erst in der Situation treffen die Personenmerkmale und Problemmerkmale aufeinander.

Die Situationsmerkmale werden uns zwei weitere Aspekte von Problemen vor Augen führen, denen wir uns anschließend widmen wollen: die Polytelie und die Intransparenz. Erst in der Situation findet problemlösendes Denken statt. Da wir dies als Informationsverarbeitung betrachten, werden wir das Konstrukt der Information noch einmal vertiefen. Ebenso werden wir einen Blick auf die kognitive Architektur im Zusammenhang mit neuer Information richten, da die Kodierung und Modulierung von Information eine große Rolle spielen wird. Doch zunächst wenden wir uns den generellen Fragen einer Situation zu.

4.1 Situation

Gehen wir von einer gegebenen Situation aus, in der sich das Problem und die Person befinden, so können wir zunächst auf die Situationstheorie zurückgreifen. Anschließend wollen wir uns mit den beiden wichtigsten Situationsmerkmalen in Hinsicht auf das problemlösende Denken beschäftigen.



■ **Abb. 4.1** Die Blockbildschaltdarstellung von MEKIV. (Mod. nach Hussy, 1998, © [1998] W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, mit freundlicher Genehmigung)

4.1.1 Situationstheorie und potenzielle Information

Die Situationstheorie geht auf Barwise u. Perry (1983) zurück. Mit ihrer Hilfe soll ein Modell entstehen, das die Einbettung der Situationswahrnehmung einer Person in den Wissenskontext dieser Person abbildet. Eine Situation setzt sich in dieser Theorie zusammen aus strukturierten, zeitlichen und räumlichen Wechselwirkungen zwischen Objekten, Lebewesen, abstrakten Konzepten und kognitiven Prozessen. Der potenzielle Informationsgehalt einer realen Situation wird als nahezu unendlich betrachtet, sodass Barwise u. Perry (1983) von „abstrakten Situationen“ ausgehen, die sich analog zu realen Situationen verhalten, aber einen geringeren Auflösungsgrad an Informationen besitzen. Das wichtigste Anliegen der Situationstheorie liegt in der Berücksichtigung von kontextuellen Effekten und Randbedingungen. Hierdurch wird die Subjektivität des kognitiven Agenten direkt verrechnet. Anders als in der Informationstheorie der Nachrichtentechnik spielt der semantische Gehalt einer Information hierbei eine große Rolle. Dennoch gibt es eine bedeutende Ähnlichkeit zwischen diesen Paradigmen: „Ordinary logical inference should be a form of information flow“ (Barwise, 1993, S. 20). Ähnlich als das „bit“ der Nachrichtentechnik wird hier die Grundlage aller Situationen aus binären Selektionen erzeugt. Es entsteht der Informationsfluss einer Situation und demnach Semantik. Wir können uns die Bedeutung der Situation für die Information ganz einfach vor Augen führen, indem wir folgenden Satz reflektieren: „Er steht vor dem Schloss.“ Für eine exakte Interpretation wären weitere Informationen aus dem Kontext der Situation wichtig. Noch oszilliert die mentale Repräsentation zu diesem Satz zwischen den Möglichkeiten der Interpretation, da erst weitere Kontextinformationen die Unschärfe der Bedeutung „Schloss“ verringern würden. Der Aspekt der spezifischen Semantik, in die das Problem eingebettet ist, kann daher als Situationsmerkmal verstanden werden und ist beim komplexen Problemlösen von großer Bedeutung (Müller & Funke, 1995). In Hinsicht auf die Untersuchung von Problemlöseleistungen sind strukturgleiche Systeme, die auch als „isomorphe Probleme“ bezeichnet werden, in unterschiedliche semantische Kontexte eingebettet worden, um die Effekte der spezifischen Semantik auf das Problemlösen zu beleuchten (Hesse, 1982; Müller & Funke, 1995). Wir möchten an dieser Stelle festhalten, dass erst durch eine bestimmte Situation einer Information der semantische Gehalt zukommen kann. Ganz kurz sei an dieser Stelle die Theorie nach Weizsäcker (1974) erwähnt, nach der die Information einer Situation gleich der Anzahl der in sie eingehenden Uralternativen gesetzt wird. Weizsäcker betrachtet Evolution als einen Prozess, der ständig zwischen Uralternativen entscheidet und daher fortwährend potenzielle Information generiert. „Alle Objekte bestehen aus letzten Objekten mit $n=2$. Ich nenne diese letzten Objekte Urobjekte und ihre Alternativen Uralternativen.“ (Weizsäcker, 1974, S. 269). Potenzielle Information spannt demnach einen „Informationsraum“ auf, dessen Dimensionen mit der Zahl der entscheidbaren Alternativen wachsen, daher die Bezeichnung „potenzielle Information“ (Ebeling, Freund & Schweitzer, 1998). Es ist nun an der Zeit, die beiden bedeutendsten Situationsmerkmale eines komplexen Problems genauer zu betrachten: die Intransparenz und die Polytelie.

4.1.2 Intransparenz

Wenn der Person nicht alle notwendigen Informationen über das System vorliegen, wird dies als „Intransparenz“ bezeichnet. Die fehlenden Informationen können sich sowohl auf die Variablenzahl, auf die Variablenvernetztheit des Systems als auch auf die Zielkonstellation beziehen (Hussy, 1984). Die Person muss sich aktiv Informationen beschaffen, um eine vollständige Repräsentation des Problems zu erhalten (Putz-Osterloh, 1981, 1987). Die Auflösung zwischen Intransparenz und

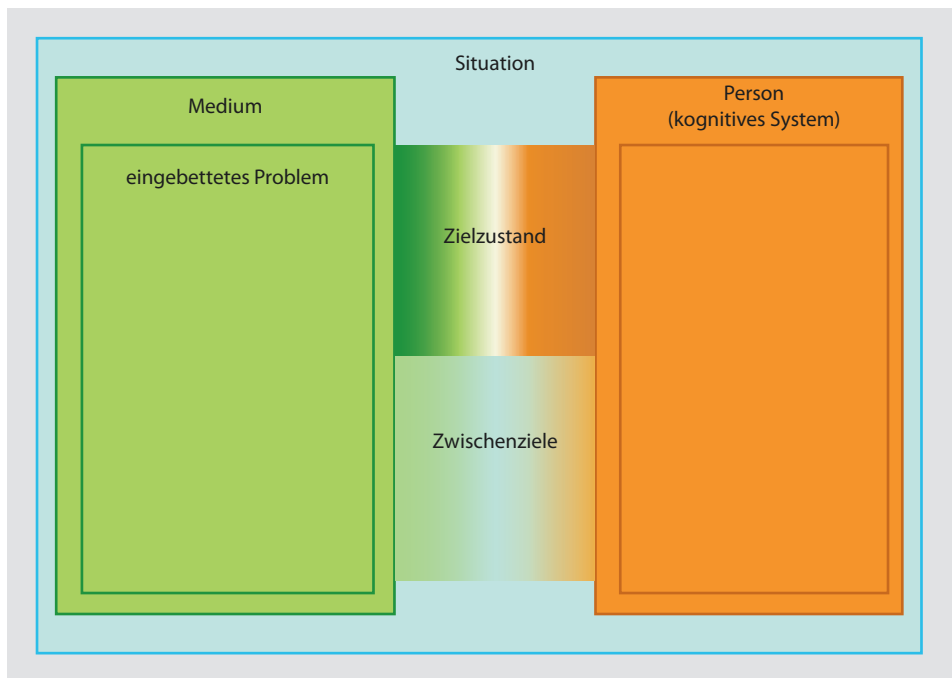
Transparenz ist als graduelle Auflösung zu betrachten. Eine Person muss nicht unbedingt eine vollständige Transparenz über ein System aufgebaut haben, um ein Problem in diesem System lösen zu können (Dörner, 1983; Funke, 2003; Rost & Strauß, 1993). Dörner spricht in diesem Zusammenhang von einem sichtbaren Ausgangsrand und einem unsichtbaren Ausgangskern (Dörner, 1983). Die Intransparenz steht somit in direkter Verbindung mit dem Wissen einer Person. Ein System oder eine Situation kann für eine Person A vollständig transparent vorliegen, während eine Person B in derselben Situation eine völlige oder halbe Intransparenz erfährt (Putz-Osterloh, 1987; Zimmer & Krems, 1997). Zudem darf nicht vergessen werden, dass es Systeme oder Situationen geben kann, die einer Person nicht die Möglichkeit einer völligen Transparenz bieten. Die Person vermag bestimmte Eingangsvariablen des Systems manipulieren zu können und erhält Informationen zu den korrespondierenden Ausgangsvariablen. Es könnten allerdings Variablen zwischengeschaltet sein, deren Existenz der Person nicht erschließbar wären (Dörner, 1983; Strauß, 1995). Unsere Formel zum Problemumfang erweitert sich um den Aspekt der Transparenz (Gl. 4.1):

$$PU = f(EZ, RPZ, VAPZ, Vernetztheit, Dynamik, Transparenz)$$

Gl. 4.1

4.1.3 Polytelie

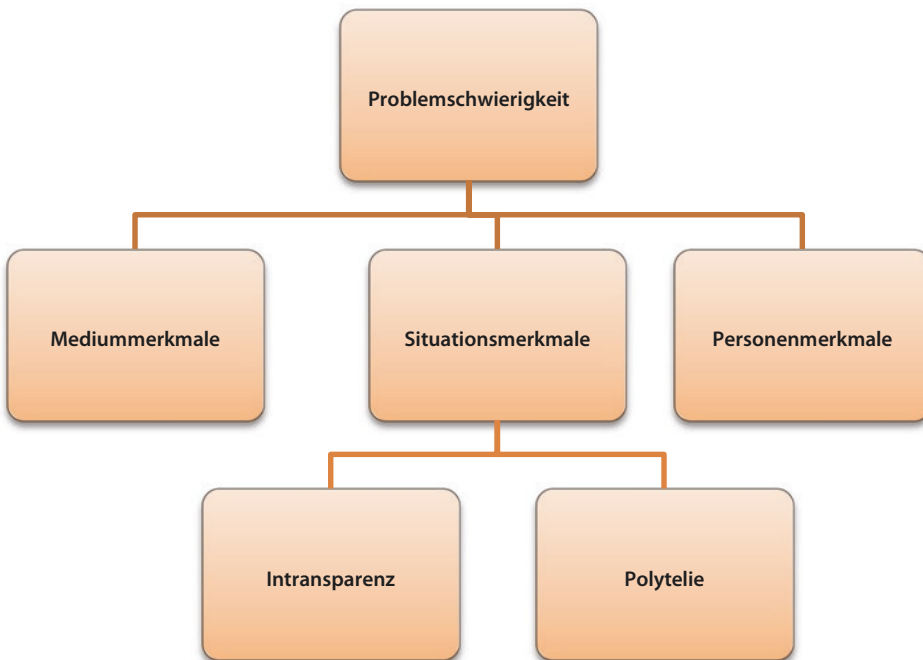
Bezieht sich die Intransparenz auf die Zielkonstellation, so ergibt es sich, dass der Problemlöser eine Zielkonstellation anhand von Kriterien konstruieren muss (■ Abb. 4.2). Er steht nun nicht nur vor der Aufgabe, verschiedene Variablenzustände auf ein Ziel hin zu optimieren, sondern



■ **Abb. 4.2** Erst die Situation stellt die Person und ein Medium, in dem sich das Problem befindet, in einen Zusammenhang. Die Situation ist als verbindendes Element, die Übergänge tatsächlich als ineinanderfließend zu betrachten. Die unterschiedliche Schattierung des Zielzustandes und der Zwischenziele soll hervorheben, dass ein Zielzustand schon sehr transparent vorliegen kann, während die Zwischenziele noch völlig intransparent sind

muss zusätzlich die Zustände selbständig beurteilen (Funke, 2003; Schoppek, 1997) und hieraus ein Oberziel kreieren. Die Anzahl der Variablen eines Systems bestimmt die Anzahl der Unterziele und somit die möglichen, unterschiedlichen Konstellationen (Putz-Osterloh, 1981, 1987). Es ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Oberzielbildung, daher wird hier von einer Vielzieligkeit, der Polytelie, gesprochen. Zunächst muss die Person zulässige von unzulässigen Zielen und Unterzielen unterscheiden. In einem nächsten Schritt muss sie die zulässigen Ziele auf ihre Güte hin beurteilen und eine Prioritätenliste erstellen. Nach Dörner (1983) wird dies auch als „Valenzierung“ (Dörner, 1983, S. 38) bezeichnet. Zielführend ist der optimalste Zustand, der die Berücksichtigung aller Prioritäten enthalten würde. Hier können kontradiktorische Ziele, also eine gleiche Priorität von sich widersprechenden Zuständen, auftreten, sodass von der Person eine Entscheidung und damit ein Kompromiss, auch als „Zielbalancierung“ bezeichnet, verlangt wird. Es kann hierbei zu „Relaxationen“ kommen, sodass die Person Verstöße gegen gewisse Kriterien auf sich nimmt oder sogar nehmen muss (Dörner, 1983; Funke, 2003). Nachdem also zunächst eine Vielzahl an möglichen Zielzuständen konstruiert worden ist, wird durch eine anschließende Beurteilung ein Oberziel ausgefällt. Auf den unterschiedlichen Ebenen der Unterziele kann es allerdings zu Verschiebungen kommen. Wir werden dies später als Strategie und Taktik betrachten.

Wir haben bis zu dieser Stelle alle wichtigen Eigenschaften eines Problems und einer problemlösenden Person kennenlernen können. Das Zusammenführen dieser Eigenschaften in einer Situation führt uns zum sog. Problemraum, der beim Zusammentreffen eines kognitiven Systems und einer Problemstruktur oder einem Problemsystem entsteht. Man kann sagen, die Person und die Problemstruktur verschmelzen zu einem „Problemraum“, dem „problem space“ (Newell & Simon, 1972, S. 71). Das bisher genutzte Diagramm muss also um die Eigenschaften der Situation erweitert werden (■ Abb. 4.3). Zudem modifizieren wir nun an dieser Stelle den bisherigen



■ **Abb. 4.3** Die Problemschwierigkeit ergibt sich vollständig aus den Merkmalen des Mediums, der Situation und der Person. Erst in einer konkreten Situation ergeben sich die Ziele und Unterziele. In der Situation zeigt sich zudem, wie intransparent das Problem erscheint

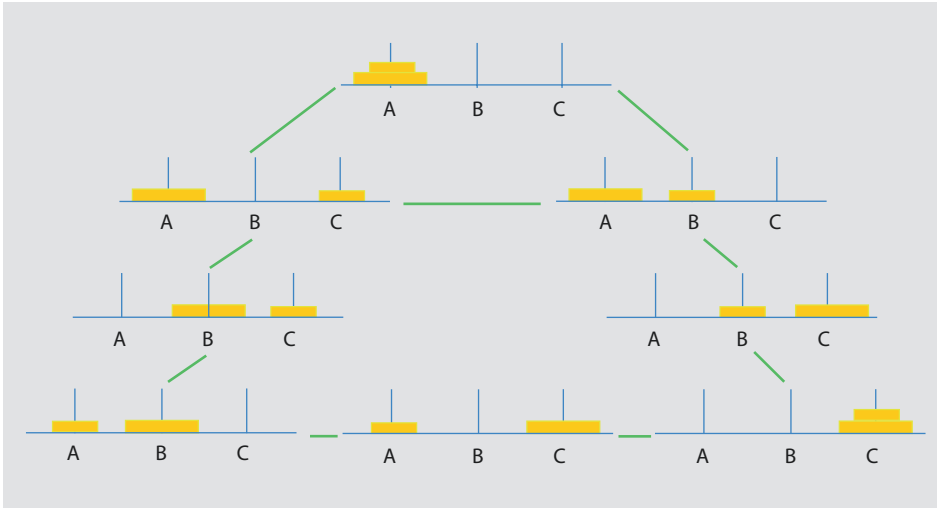
Bereich des Problems zum Bereich des Mediums, in welchem die potenzielle Problemstruktur eingebettet ist. Alle Faktoren der Problemschwierigkeit sind in  Abb. 4.3 noch einmal aufgeführt.

4.2 Der Problemraum

Der Begriff des „Problemraums“ ist auf Newell u. Simon (1972) zurückzuführen, der die subjektive Repräsentation eines Problems und dessen Lösung, einschließlich aller „Zwischen“-Zustände und aller relevanten Prozesse umfasst. Die Autoren haben die wesentliche Informationsverarbeitung als Manipulation von Symbolstrukturen betrachtet, aus der sich mindestens zwei Symbolsprachen ableiten lassen: eine Zustandssprache („state language“) und eine Prozesssprache („process language“). Der Problemraum lässt sich anhand dieser Sprachen in einen Zustandsraum („state space“) und einen Prozessraum („action space“) weiter unterteilen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Zustandssprache mit den Operationen des afferenten Systems verbunden ist, während die Prozesssprache mit den Operationen des efferenten Systems in Verbindung steht. Problemlösen kann hierdurch als gelungene Übersetzung afferenter Stimulationen in efferente Reaktionen betrachtet werden (Newell & Simon, 1972). Die Autoren weisen darauf hin, dass die Lösung als Lösungsweg („solution-path“), LösungsAktions-Sequenz („solution-action-sequence“) oder Lösungsobjekt bzw. Ziel („solution-object“ bzw. „goal-object“) betrachtet werden kann. Wird ein Lösungsweg oder eine Lösungs-Aktions-Sequenz betrachtet, so bilden sich diese als verzweigte Pfade ab, man spricht von einem Suchbaum („search tree“). Da Newell u. Simon von einer subjektiven Repräsentation ausgehen, unterliegt der sog. Suchraum („search space“) der Vorstellungskraft des Problemlösers. Ein Suchraum kann einen sehr großen Umfang einnehmen, da er die eigentliche Problemumgebung („task environment“) übersteigen kann, indem die Person auf Wissensressourcen zurückgreift. Bei der Suche können kreative Zustände mental erzeugt werden, die in der Realität nicht zu erzeugen wären. Sehr wichtig ist der Aspekt, dass ein Suchraum nicht fehlerfrei sein muss. Eine Person kann in ihrer Vorstellung Zustände erzeugen, die in der Realität unzulässig, ineffektiv oder ineffizient wären. Erzeugt eine problemlösende Person während einer Problembearbeitung einen Suchraum und korrigiert während dieses Prozesses fehlerhafte Zustände – hierzu ist allerdings während des Prozesses ein Feedback notwendig – so entsteht aus einem Problemraum allmählich ein Planungsraum („planning space“). Ein solcher Planungsraum kann in Abhängigkeit von seiner Größe auch als Interpolationsproblem bezeichnet werden. Diese Problemgattung stellt den Übergang vom Problem zur Aufgabe dar; wir werden dieses Konstrukt an späterer Stelle näher betrachten (► Abschn. 4.3.1). Um die Komponenten Zustandsraum und Prozessraum des übergeordneten Gebildes Problemraum noch genauer betrachten zu können, müssen wir das Konstrukt „Information“ an dieser Stelle weiter vertiefen ( Abb. 4.4).

4.2.1 Dimensionen von Information

Bevor wir die verschiedenen Typen der Information bearbeiten, wollen wir folgende Gemeinsamkeit festhalten: „Zur Information gehört Eindeutigkeit.“ (Weizsäcker, 1974, S. 55). Zudem gilt nur das als Information, was auch wiederum Information erzeugt. Allerdings gilt für Information kein Erhaltungssatz, wie ihn die Physik für Größen in abgeschlossenen Systemen kennt (Bischof, 1995; Frank, 1996). Da Information substanzlos ist, kann sie sowohl kopiert als auch vernichtet werden, wobei es erste Vertreter eines Erhaltungssatzes der Information gibt (Pagel, 2013). So ist die Information zudem in die Diskussion geraten, neben Masse und Energie als



■ **Abb. 4.4** Es ist eine klassische Trajektorie des Interpolationsproblems Turm von Hanoi in einer Zwei-Scheiben-Version abgebildet. Die einzelnen Zustände des Systems sind transparent und alle Operatoren sind bekannt

eigene Grundgröße in die Physik aufgenommen zu werden (Schweitzer, 1999). Norbert Wiener formulierte 1948 folgendes Axiom: „Information is information, neither matter nor energy.“ (Wiener, 1965, S.132). Weizsäcker (1974) schrieb später etwas beschwichtigender: „Masse ist Information. Energie ist Information.“ (Weizsäcker, 1974a, S. 361). Die für das Problemlösen wohl wesentlichste Eigenschaft ist der Überraschungswert einer Information, also die Überraschung im Unterschied zum Erwarteten: „das Erwartete enthält keine Information, weder im alltäglichen noch im strengen Sinne des Begriffs.“ (Flechtner, 1972, S. 75). Information und somit das Problemlösen stehen immer mit etwas „Neuem“ und daher „Überraschendem“ in Verbindung. Da wir uns hauptsächlich mit bewusstem Problemlösen beschäftigen, ist noch eine weitere Dimension von Information von größter Bedeutung: das Bewusstsein. Hierzu formulierte Frank folgenden Satz: „Information steckt in allem, was bewusst wird“ (Frank, 1999, S. 85) und letztlich sah Gregory Bateson Information als Synonym für „Nachrichten von Unterschieden“ (Bateson & Bateson, 1993, S. 29) an. Wir werden unmittelbar an den Imperativ von Spencer-Brown erinnert: „Make a difference“ (Spencer-Brown, 1969, S. 3) und es ließe sich der Schluss vermuten, dass Bewusstsein einhergeht mit der aktiven Produktion von Unterscheidungen.

■ Entmaterialisierung

Wir haben uns bereits in ► Abschn. 3.2 dem Konstrukt der Information annähern können. Die Betrachtung von Problem- und Planungsraum führt uns nun zu einer differenzierteren Sicht des Informationsbegriffes. In ► Abschn. 3.2.2 (■ Abb. 3.5) haben wir eine Einordnung des Informationsbegriffes in die Dimensionen Gebundenheit und Ordnung verdeutlicht bekommen. Die Dimension „Gebundenheit“ bedarf einer ersten vertiefenden Betrachtung. Jede unmittelbare materielle Eigenschaft eines physikalischen Systems stellt gebundene Information dar, die sich selbst repräsentiert und keinem Zweck dient. Auf dieser Ebene kann auch noch immer vom Signal gesprochen werden. Bei Signalen sind Materialität oder Energieform irrelevant, lediglich ihre Eigenschaft, etwas „repräsentieren“ zu können, ist von Bedeutung (Bischof, 1995). Jegliche Beziehung zwischen zwei Systemen, so auch die zwischen einem Sender und einem Empfänger, wird nicht über gebundene, sondern über freie Information hergestellt. Eine solche freie Information

wird immer als symbolische Information verstanden, da im Übergang von gebundener zu freier Information eine Art „Entmaterialisierung“ (Ebeling et. al. 1998, S. 53) stattfindet. In diesem Vorgang wird ein Schlüssel in der Entstehung informationsverarbeitender Systeme vermutet. Er kann als „Ritualisierung“ oder „Symbolisierung“ bezeichnet werden (ebd.) und ermöglicht, dass Information in Symbolen gespeichert, ausgetauscht und weiterverarbeitet werden kann (Whitehead, 2000). Im Gegensatz zum Selbstzweck der gebundenen Information hat freie Information einen Zweck. Sie kann nach der Weiterverarbeitung als Bauplan oder Verhaltensprogramm wieder in gebundene Information zurückverwandelt werden. Solche Funktionen finden nur in Lebewesen statt und daher existiert freie Information außerhalb von Lebewesen bzw. Lebenswelten (Mensch-Maschine-Interaktion) nicht. Wir müssen an dieser Stelle dem Konstrukt „Information“ weiter nachgehen.

■ Strukturelle Information

Liegt zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort eine Struktur vor, so kann diese als strukturelle Information bezeichnet werden. In ihr ist der Informationsgehalt auf materieller Grundlage kodiert; hierzu zählen Sequenzen wie etwa Buchstaben in einem Text, musikalische Tonfolgen oder auch die DNA. Aufgrund der materiellen Kodierungsform wird sie daher auch als „Information 1. Art“ bezeichnet (Ebeling et. al., 1998). Durch die materielle Kodierung entsteht eine Form von „struktureller Determiniertheit“. Es gibt Autoren, die sich auf dieser Ebene für eine weitere Unterteilung in kinetische, neben der strukturellen Information aussprechen (Stonier, 1991). Strukturelle Information ist letztlich die Form der Information, die zwischen Systemen ausgetauscht werden kann. Hierzu ist der Gebrauch eines Mediums notwendig, das wir bereits als lose Koppelung definiert haben.

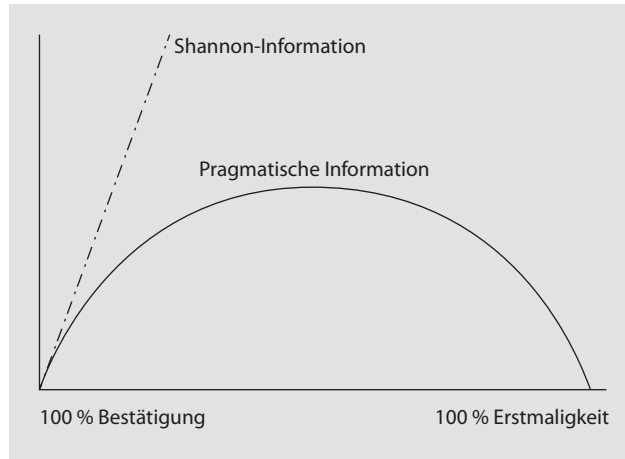
■ Funktionale Information

Wir haben bereits an anderer Stelle (► Abschn. 3.2.1) das Konstrukt Algorithmus kennengelernt. Ein Algorithmus ist ebenfalls eine Information, die allerdings nicht als algorithmische Information sondern als „funktionale Information“ (Schweitzer, 1997a) bezeichnet wird. Diese entsteht in einem Rezipienten, der in Abhängigkeit vom jeweiligen Kontext die strukturelle Information mithilfe von funktionaler Information deutet. Während sich viele Autoren (Glaserfeld, 1997; Fenk, 1986; Frank, 1962) dafür aussprechen, dass Information erst im Rezipienten entsteht (eine strukturelle Information wäre demnach nicht gegeben), betrachtet die hier angeführte Perspektive die erste Information im Rezipienten bereits als „Information 2. Art“, wobei dennoch in Anlehnung an den Gedanken der „Autopoiese“ davon ausgegangen wird, dass funktionale Information die Selbstreferenzialität, also die operationale Geschlossenheit des Systems, beschreibt (Luhmann, 1992; Schweitzer, 1999). Hier ist die Nähe zur konstruktivistischen Perspektive der informativen Geschlossenheit (und energetischen Öffnung) des kognitiven Systems wieder hergestellt. Funktionale Information kann demnach als individuelles Vorwissen betrachtet werden, das in keinem Fall als bewusstseinspflichtiges Vorwissen betrachtet werden muss (Weizsäcker, 1974b). Dies bedeutet, dass funktionale Information immer kontextabhängig und von den Referenzzuständen des Empfängers abhängig ist. Erst aus dem Zusammenspiel von struktureller Information und funktionaler Information entsteht wirksame Information, die als pragmatische Information bezeichnet wird. Dieses Konstrukt erlaubt es, automatisierte Prozesse in den Blick zu nehmen.

■ Pragmatische Information

Damit eine Information Wirkung erzeugen kann, muss sie verstanden werden. Das Konstrukt der pragmatischen Information soll als Maß für solch eine Wirkung von Information im Empfänger betrachtet werden (■ Abb. 4.5). Die zuvor behandelte funktionale Information nimmt

■ **Abb. 4.5** Pragmatische Information. Im Vergleich zur Shannon-Information wächst die pragmatische Information mit der Zunahme der Erstmaligkeit nicht ins Unendliche an. Sie nimmt aufgrund der Komplexität bei zu hoher Erstmaligkeit wieder ab. Eine absolute Erstmaligkeit kann es bei ihr nicht geben, sie ist vielmehr vom Vorwissen des interpretierenden Systems abhängig und würde ohne Vorwissen keine Wirkung erzeugen. (vgl. Ebeling et. al. 1998)



dabei eine vermittelnde Position zwischen struktureller und pragmatischer Information ein, sie bildet praktisch den Übergang. An dieser Stelle lässt sich die Frage stellen, wann eine Information Wirkung erzeugt? Ist eine Information im Empfänger vollständig bekannt, so ist sie redundant und von keiner Wirkung; es liegt eine vollständige Bestätigung vor. Aber Information erzeugt auch keine Wirkung, wenn sie vollständig unbekannt ist. Hier liegt nun ein wesentlicher Unterschied zum Informationsbegriff nach Shannon aus ► [Kap. 2](#) vor. Pragmatische Information muss an Bekanntes anknüpfen, um Wirkung erzeugen zu können. Sie muss auf ein Gedächtnissystem zurückgreifen können (Ebeling et al., 1998). Pragmatische Information bildet zwischen vollständiger Bestätigung und Erstmaligkeit einen Kurvenverlauf, während die Shannon-Information linear anwächst. Die Frage nach dem beschränkenden Faktor der pragmatischen Information hat Weizsäcker (1974b) versucht, mit der Funktion der Komplexität zu beantworten (Weizsäcker, 1974b). Zur Betrachtung der Komplexität von Information müssen relevante Umweltstrukturen und Empfängerstrukturen betrachtet werden, sie kann in jedem Fall als die Existenz weitreichender zeitlicher und räumlicher Korrelationen angesehen werden. Die Konstruktion der Information als pragmatische Information ist somit die Bestätigung von Information. In ihr wird ein dynamisches Element ausgemacht (Ebeling et. al., 1998), das in engem Zusammenhang zum Selbstorganisationsprozess steht. Strukturelle bzw. eintreffende Information kann zunächst als eine neutrale Störung des informativ geschlossenen Systems betrachtet werden; sie ist unspezifisch kodiert. Eine Bedeutung erlangt diese erst durch die Konstruktion des Empfängers, der im Rahmen seiner Möglichkeiten die Störung bzw. das Signal interpretieren muss – man spricht von Selbstreferenzialität. Bedeutung entsteht somit durch einen Selbstorganisationsprozess, der mit den verschiedenen Zuständen des Systems, beim Menschen mit den Zuständen des Gehirns, korreliert. Die so entstehende Emergenz lässt die Möglichkeit offen, diese als semantische Information zu bezeichnen (Haken & Schiepek, 2006). Auf den Zusammenhang von Selbstorganisation und Information werden wir anschließend noch einmal vertiefend eingehen müssen.

■ Syntaktische Information

Im Gegensatz zur pragmatischen Information misst syntaktische Information lediglich den Neuigkeitswert einer Information. Im Unterschied zu semantischer, funktionaler und pragmatischer Information muss diese nicht verstanden werden. Syntaktische Information kann daher ohne Berücksichtigung der Quelle, des Empfängers und der Bedeutung betrachtet werden (Frank, 1962). Sie bezieht sich lediglich auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und weist die größte

Ähnlichkeit zur Shannon-Information auf. Daher kann die Theorie nach Shannon auch als syntaktische Informationstheorie bezeichnet werden. Hinter der Bezeichnung Syntax verbirgt sich die Eigenschaft einer nach bestimmten Regeln erfolgende Bildung von Mustern. Muster können als irgendeine Folge von Ereignissen in der Zeit oder irgendeine Reihe von Gegenständen im Raum verstanden werden. Solche Folgen können untereinander verglichen oder aber unterschieden werden. Insofern sind sie erinnerbar und grenzen sich von einem regellosem Ereignis oder einem Chaos ab (Flechtner, 1972). Muster entsprechen demnach irgendeiner Ordnung, die wir als Code bezeichnen. Indem Ordnung entsteht, nimmt Gleichwahrscheinlichkeit ab. Es ist nicht trivial, zu erwähnen, dass Unordnung wahrscheinlicher ist als Ordnung, und dass Unordnung in physischen Systemen von alleine zunimmt. Semantische Information ist durch syntaktische Information bedingt, die daher in sich einen semantischen Aspekt birgt. Syntaktische Information verweist daher schon immer auf eine Semantik, ohne diese selbst zu beinhalten. Dieses Potenzial bildet sich in ihr als „Leerstelle“ (Flechtner, 1972, S. 62) ab und sollte daher ebenfalls verrechnet werden. Dies ist der Brückenschlag zur semantischen Information (Frank, 1962).

■ Semantische Information

Semantische Information wäre in diesem Zusammenhang als ein Zeichen zu verstehen, das eine mentale Repräsentation, eine Vorstellung, erzeugt. Es entsteht eine Bedeutung, die immer von einem Code abhängig ist. Sie scheint einen sehr engen Verwandtschaftsgrad zur funktionalen Information aufzuweisen. Semantische Information verlangt vom Empfänger im Vergleich zur funktionalen Information Eigenaktivität. Wir könnten auch sagen, dass sie die bewusstseinspflichtige Form der funktionalen Information darstellt. Hieraus ergibt sich, dass ein Individuum semantische Information zunächst selbständig herstellt; es entsteht ein Code. Als Definition eines Codes kann folgender Passus nach Ernst von Glasersfeld (1997) genutzt werden: „Ein Code ist ein Arrangement semantischer Verknüpfungen von bezeichnenden Elementen mit anderen Elementen, die durch diese bezeichnet werden.“ (Glasersfeld, 1997, S. 189). Diese Code-Erzeugung unterliegt hohen Freiheitsgraden und es bilden sich emergente Strukturen ab. Das Phänomen von Emergenz als Struktur in einem System bildet sich auf einer mittleren Ebene ab. Diese Mesoebene entwickelt sich aus dem Zusammenspiel von Mikro- und Makroebene. Auf der mikroskopischen Ebene bilden individuelle Einheiten ein System, wobei Systeme ihre Individuen „verklaven“ (Haken & Schiepek, 2006, S. 82), sobald sie sich als System etablieren konnten. Dieser Prozess scheint die Möglichkeit zur Verfügung zu stellen, dass ein zunächst bewusstseinspflichtig ausübender Prozess in einen automatischen Prozess überführt werden kann. Bottom-up und Top-down-Prozesse greifen an dieser Stelle ineinander. Eine solche Sichtweise findet sich auch wieder, wenn wir die „slave systems“ der Arbeitsgedächtnisstruktur betrachten (Haken & Schiepek, 2006). Es gibt gute Gründe zu der Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis zunächst nicht in spezifische Codes unterschieden ist, sondern sich durch Entstehung von Codes in der Entwicklung spezialisiert (Haken, 2003). Diese These wird auch durch eine stark konstruktivistische Auffassung gestützt:

- » Die Reaktion einer Nervenzelle verschlüsselt keine physikalischen Merkmale des Agens, das ihre Reaktion verursacht. Es wird lediglich das ‚So viel‘ an diesem Punkt meines Körpers encodiert, nicht aber das ‚Was‘. (Foerster, 1981, S. 293).

Hieraus folgert Glasersfeld (1997), dass eine Welt mit sichtbaren, hörbaren, berührbaren und weiteren Dingen durch Relationen entsteht, die ein Beobachter zwischen internen Signalen herstellt, die gemeinsam oder in einer bestimmten Reihenfolge ankommen. Aufgrund der zuvor angeführten Prozesse bildet diese Mesoebene eine selbständige Ebene ab und stellt somit einen Nährboden für eine semantische Ebene her.

■ Ästhetische Information

Es wird davon ausgegangen, dass lediglich der Mensch ästhetische Information bewusst sendet und empfängt (Gunzenhäuser, 1975; Ebeling et. al., 1998; Mittenecker & Raab, 1973). Während auf einer höheren Ebene die pragmatische Information eher mit Handlungen korrespondiert, wird ästhetische Information mit Emotionen in Verbindung gebracht (Mittenecker & Raab, 1973). Auch Dörner (1970) versuchte, den Zusammenhang von Informationsverarbeitung und Ästhetik weiter zu beleuchten, indem er Probanden „schöne“ und „hässliche“ Muster mittels farbiger Quadrate (10x10 Raster) legen ließ, die anschließend durch ihren Informationsgehalt quantifiziert wurden. Hierbei wurden Farben und die räumliche Anordnung berücksichtigt. Bei der Verarbeitung struktureller Information wird immer ästhetische Information mitverarbeitet (Weltner, 1970). Ihr Einfluss auf die menschliche Informationsverarbeitung wird in aktuellen Theorien, wie etwa der Theorie der kognitiven Belastung nach Sweller (1988), berücksichtigt (Schnotz & Kürschner, 2007). Historisch betrachtet, ist diese Form der Information besonders in der Gestaltpsychologie von größter Bedeutung für die Gestaltgesetze gewesen.

■ Humankybernetisches Informationsmaß

Wir haben bereits in ► Abschn. 3.2 ein Informationsmaß kennengelernt, das nach Shannon auch als „H“ oder „Unsicherheit“ bezeichnet wird. Eine solche Unsicherheit wächst mit der Anzahl an Möglichkeiten, sofern alle erwarteten Möglichkeiten gleichwahrscheinlich sind. Die Betrachtung der Humankybernetik geht über diese Perspektive weit hinaus, indem sie die Systeme, zwischen denen die Information ausgetauscht wird, mit in Betracht zieht. Wir wollen einen Versuch betrachten, der von Frank (1999) in diesem Zusammenhang aufgeführt wird. Für diesen Versuch wird eine zufällige Zeichenfolge von 100 Zeichen konstruiert. Während für die Versuchsgruppe als Zeichenvorrat zweiunddreißig Buchstaben eines überlernten Alphabets dienen, bilden zehn Ziffern von 0 bis 9 den Zeichenvorrat für die Vergleichsgruppe. Obwohl das Lesen beider Zeichengruppen für beide Gruppen gleich geübt ist, unterscheiden sich die Gruppen in der Lesegeschwindigkeit signifikant. Frank (1999) führt dies auf den Informationswert der Zeichen hinsichtlich des ihnen zugeordneten Systems zurück. Für ihn resultiert hieraus die „Zeichenschwere“ (Frank, 1999, S. 78), die die Informationsmenge im Gegensatz zur Zeichenzahl geeignet misst. Das in der Realität vorgefundene Zeichen steht somit immer im Verhältnis zu den möglichen Zeichen, was als Potenzialität verstanden wird, oder nach Bense auch als „Mitrealität“ bezeichnet werden kann (Bense, 1954). Frank (1999) rät daher zur Verwendung eines „humankybernetischen Informationsmaßes“, um die Übertragung einer Nachricht zwischen Systemen in den Blick zu nehmen. Das humankybernetische Informationsmaß (I) lässt sich in folgender Gleichung abbilden (Gl. 4.2):

$$I = \lg 1/p \quad \text{Gl. 4.2}$$

Frank sieht in diesem Maß einen engen Zusammenhang zur „Schnelle der Bewusstwerdung“ (Frank, 1999, S. 77), die als C_K bezeichnet werden kann. Je größer das System ist, an dem ein Signal gekoppelt ist, desto langsamer vollzieht sich folglich die Bewusstwerdung. Der Zeitraum, der dem Menschen als „gleichzeitig“ erscheint, wird auf etwa eine 1/16 Sekunde bestimmt. Dieser Zeitraum wird auch als subjektives Zeitquant (SQZ) bezeichnet. Hieraus ergibt sich für die Schnelle der Bewusstwerdung (Gl. 4.3):

$$C_K = 1 \text{ bit/SQZ} \quad \text{Gl. 4.3}$$

Nachdem eine Information bewusst geworden ist, verweilt diese im Bewusstsein in einem Zeitfenster zwischen vier bis zehn Sekunden, was als „Gegenwartsdauer“ oder „Weite des Bewusstseins“ (Frank, 1999, S. 82) bezeichnet werden kann, der hohe Übereinstimmungsgrad mit dem

Konzept des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley ist hier auf kodierungsfreier Ebene zu erkennen. Das humankybernetische Informationsmaß erlaubt es allerdings nun, die Schwere der im Arbeitsgedächtnis vorliegenden Information in Beziehung zu dem im Langzeitgedächtnis angelegten System in den Blick zu nehmen.

■ Transinformation

Wird z. B. aufgrund einer strukturellen Information anschließend eine pragmatische Information erzeugt, so bietet es sich an, von Transinformation anstatt von Korrelation zu sprechen. Transinformation sollte somit als ein Maß von Abhängigkeit zwischen unterschiedlichen Feldern oder Systemen verstanden werden. Hierzu werden zunächst externe Felder (Nachrichten, Wahrnehmung, etc.) von internen Feldern (Regeln, Begriffe, Strategien) unterschieden. Sind Felder bzw. Systeme voneinander völlig unabhängig, so liegt keine Transinformation vor. Sind zwei Felder hingegen voneinander völlig abhängig, sind diese eindeutig ineinander überführbar. Die Transinformation ist dann gleich der Information der beiden Einzelfelder. Die Information über Feld A wäre deckungsgleich in Feld B enthalten. Nach Meyer-Eppler kann die Transinformation auch als die „richtig übertragene Information“ (Meyer-Eppler, 1959, S. 140) oder als die „kontingente Information“ (Mittenecker & Raab, 1973, S. 61) bezeichnet werden. Die Größe der Information, die nicht überführt worden ist und somit verloren gegangen scheint, wird als „Äquivokation“ bezeichnet. Die beiden benannten Extremformen der Transinformation sind seltener anzutreffen; üblicherweise besteht eine stochastische Abhängigkeit zwischen Informationen. Die Beschreibung dieser Abhängigkeiten bildet sich im Code ab. Ein solcher Code entwickelt sich weitestgehend aus Lernprozessen. So kann Lernen als ein Entdecken und Ausnutzen von Redundanzen betrachtet werden, was darauf basiert, dass sich Einschränkungen in der Freiheit der Kombination von Elementen entwickeln (Flechtner, 1972, S. 114; Fenk, 1986). Sofern anschließend keine völlige Redundanz vorliegt, bleibt Information übrig. Redundanz bildet später folglich das Erwartete im Gegensatz zur Information, die das „Unerwartete“ (Flechtner, 1972, S. 118) darstellt.

Die bisherigen Darstellungen legen die Vermutung nahe, dass Bewusstsein und Information unmittelbar verwandt zu sein scheinen. Das Arbeitsgedächtnis kann aus einer solchen Perspektive als „tabula rasa“ betrachtet werden, die immer mit Informationen beladen ist. So ist es Baddeley (1996) selbst, der dem Arbeitsgedächtnis die zentrale Stelle zwischen Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Langzeitgedächtnis und Verhalten zuschreibt und somit die unmittelbare Nähe zur strukturellen, funktionalen und pragmatischen Information herstellt. Information ist als etwas „Unerwartetes“ letztlich hochgradig mit der Barriere bzw. dem Problem verwandt. Im Bewusstsein bilden sich demnach die Differenzen von dem ab, was erwartet wird und dem, was in der Realität vorliegt; es entsteht eine Form. Folgen wir dieser Perspektive, so steht der Mensch immer vor einem Problem, was unseren Thesen der vorherigen Kapitel zunächst zu widersprechen scheint, da wir bereits erfahren haben, dass der Mensch aus einem Problem eine Aufgabe herstellen kann. Gemäß der vorgestellten Dimensionen der Information leitet sich der Schluss ab, dass eine Aufgabe im Unterschied zu einem Problem als ein „ästhetisches Problem“ angesehen werden kann. Somit würde hypothetisch gesehen auch ein Mensch, der alle Probleme gelöst und ein praktisch universales Wissen aufgebaut hat, nicht sein Bewusstsein mit der ansteigenden Menge des Wissens verlieren. Sein Arbeitsgedächtnis wäre zukünftig mit ästhetischer Information beladen (Franke, 1974; Singer, 2002). Wir haben uns die Dimensionen der Information vertieft angeschaut, um mehr über die Bausteine eines Problemraums zu erfahren. Bei der Besprechung des Arbeitsgedächtnisses in ► [Abschn. 3.3.3](#) ist uns bereits deutlich geworden, dass Information während der bewussten Informationsverarbeitung unterschiedlich moduliert und kodiert vorliegt, auch dies wollen wir nun noch einmal vertieft betrachten.

4.2.2 Biologischer Code und kultureller Code im Problemraum

■ Modus

Für das menschliche Bewusstsein gibt es zwei Informationsquellen, die aktuelle Realität der Umgebung bzw. Umwelt durch das sensorische System und die aus dem Langzeitgedächtnis abrufbare Information. Information, die den Organismus aus der Umwelt erreicht, kann auch als „perzeptuelle Information“ (Klimesch et. al., 1988, S. 132) bezeichnet werden. Es wird bislang davon ausgegangen, dass die Sinnesmodalitäten jeweils eigene Codes aufweisen, sodass während einer ersten Enkodierung von Information über die Rezeptoren Codes unterschiedlicher Qualität genutzt werden. Im Baddeley-Modell werden bislang visuelle von auditiven Codes unterschieden (Repova & Baddeley, 2006). Information, die den Menschen über Lichtwellen erreicht, läge somit zunächst in einem anderen Code vor als Information, die über Schallwellen aufgenommen wird. Bei beiden Prozessen spricht man von der „sensorischen Transduktion“. So werden Tonhöhen durch etwa 60.000 Haarzellen in der Schnecke des Ohres kodiert, und in jedem der beiden Augen gibt es mehr als ein Million Photorezeptoren (Singer, 2009). Die Umwelt wird somit zunächst in Form von „Elementarereignissen“ aufgenommen (Dudel et. al., 2001). Wir wollen nicht von auditiver oder visueller Information sprechen, sondern von „auditiv-modulierter“ oder „visuell-modulierter Information“, die die Impulsfolge der Neuronen beeinflusst (Rudner & Rönneberg, 2008; Singer 2009; Dudel et. al., 2001). Aus radikal-konstruktivistischer Perspektive wäre es zulässig zu sagen, dass diese Form der Information hochgradig mit der Aktivität des Empfangsorgans korreliert, unterschiedliche Codes wären aber noch nicht notwendig. Im Gehirn kann von „topologischen Karten“ ausgegangen werden, die von den Empfangssystemen, wie etwa dem Sehsystem und dem auditiven System, mit Informationen versorgt werden. In frühen Lebensjahren entwickeln sich die topologischen Karten, also z. B. zum Sehen und Hören, zunächst unabhängig voneinander und werden im Laufe des entwicklungsbiologischen Prozesses in Deckung gebracht. Somit entsteht schrittweise „Realität“. Um Realität zu erzeugen, wendet der Mensch den „intermodalen Konsistenztest“ (Singer, 2009, S. 105) an. Dieser testet Wahrnehmungsinhalte auf Realität, indem die Inhalte durch mindestens zwei Sinnesmodalitäten bestätigt werden, es kommt zu „intermodaler Kongruenz“. Die größte Verwandtschaft liegt hierbei zwischen Seh- und Tastsinn, da beide die Welt so repräsentieren können, wie sie sich ihnen darbietet. Beide Sinne können Objekte präzise identifizieren, die dreidimensionale Gestalt, ihre Lage oder auch ihre Bewegung dekodieren. Solche Entschlüsselungen sind mithilfe des Gehörs nicht oder nur sehr unvollkommen möglich (Singer, 2009). Sobald also „perzeptuelle Information“ in das menschliche Bewusstsein drängt, kann zumindest das Quellorgan bestimmt werden, sodass spätestens hier ein eigener Code für die sensorische Quelle vorliegt. Da die Modulation der Impulsfolge des Nervensignals durch Codes bewirkt ist (Flechtner, 1972; Pritzel et. al., 2003), wollen wir von „biologischen Codes“ sprechen. Biologische Codes erzeugen im Menschen bewusst wahrnehmbare Muster der Realität. Schauen wir auf die vorherige Definition von Codes zurück, so kann nun an dieser Stelle festgehalten werden, dass biologische Codes bewusstseinserzeugend wirken können. Sofern wir mit dem Begriff des Bewusstseins noch vorsichtig sein wollen, auch wenn er an dieser Stelle nicht mit dem Begriff des Selbstbewusstseins gleichzusetzen wäre, und den biologischen Code auch für das Tierreich gelten lassen wollen, schreiben wir dennoch lieber, dass biologische Codes „kognitionserzeugend“ wirken können. Kognition wäre hier nach Maturana (2000) wie folgt verstanden: „Kognition als biologisches Phänomen ereignet sich in einem lebenden System, wenn dieses in seinem Bereich der Störeinwirkungen handelt“ (Maturana, 2000, S. 200). Faszinierend, dass sich hier herauslesen lässt, dass nach Ansicht Maturanas durch Problemlösen in lebenden Systemen Kognition entsteht, denn eine Störeinwirkung kann eindeutig als Problem bezeichnet werden.

■ Kultureller Code

Im Gegensatz zum biologischen Code ist der kulturelle Code anthropogen beeinflusst und beeinflussbar. Den wahrgenommenen Mustern der Umwelt wird nun eine Bedeutung zugeschrieben und es entstehen sog. Perzepte. Wir haben uns bereits in ► Abschn. 3.2.2 unter dem Stichwort der Semiotik mit wichtigen kulturellen Codes, hier vorrangig mit Index, Ikon und Symbol, auseinandersetzen können. Im Arbeitsgedächtnismodell treffen wir kulturelle Codes nicht nur in Form von visuell-modulierter Information durch piktorale, ikonische und symbolische Codes an, sondern auch als auditiv-modulierte Information an, die die unterschiedlichen Codes Geräusch, Musik und gesprochene Sprache umfasst (Mayer, 2005). Unterhalb dieser Codesysteme lassen sich unterschiedliche Komplexitätsgrade ausmachen. Diese Komplexitätsgrade sind durch die aktive Informationsverarbeitung des Menschen hervorgebracht und beziehen sich auf Artefakte und soziale Praktiken, Tomasello spricht hierbei von der „kumulativen kulturellen Evolution“ (Tomasello, 2006, S. 56), die diese Komplexität vorantreibt. Diese Codes liegen also in den Kulturen als „äußere, kulturelle Repräsentationen“ (ebd., S. 216) vor und ihr Bedeutungsgehalt muss zunächst vom Individuum erlernt werden. Hinter kulturellen Repräsentationen verbirgt sich demnach ein externes System, das vom Individuum internalisiert wird. Bei Schmidt (2005) finden wir hierzu folgende Erläuterung:

- » Wirklichkeitsmodelle etablieren sich durch sozialreflexive Bezugnahmen von Aktanten in Handlungen und Kommunikationen und verfestigen sich als symbolisch-semantische Ordnung durch Sprache, die Benennungskonstanz und Benennungsschematisierung von Kategorien und semantischen Differenzierungen für alle Gesellschaftsmitglieder ermöglicht, indem sie konkrete Bezugnahmen in Gestalt semiotischer Materialien (Zeichen) kollektiv stabilisiert“ (Schmidt, 2005, S. 36).

Es wird hierbei aus der Perspektive einer empirischen Semiotik davon ausgegangen, dass die Komplexität des semiotischen Materials im Zuge der Evolution zunimmt. Eine solche Evolution wird noch immer dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der die Tendenz natürlicher Prozesse zu einem Gleichgewichtszustand höchster Wahrscheinlichkeit beschreibt, entgegengesetzt. Evolution wird somit verstanden als „Akkumulation von Information in immer komplexeren Systemen.“ (Peukert, 1978, S. 111) und auf materieller Basis kann Information mit dem Begriff „thermodynamische Verschiedenartigkeit“ (ebd., S. 112) gleichgesetzt werden. Es ist nicht verwunderlich, dass eine moderne hochentwickelte Schriftsprache eine wesentlich höhere Komplexität aufweist als eine ikonische Wandmalerei. Ebenso verhält es sich im Auditiven mit Musik zur Sprache. Um das Symbolsystem der Sprache angemessen interpretieren zu können, muss ein Individuum wesentlich mehr zuvor erlernte Information aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis dekodieren, als dies bei Piktogrammen der Fall wäre. Hier wird dem Arbeitsgedächtnis ein Großteil der wesentlichen Information aus der Umwelt über das sensorische Register zugeführt. In beiden Fällen entsteht die bedeutungshaltige Information, also die semantische Information, erst im Arbeitsgedächtnis. Aber die Menge der bedeutungsrelevanten Information entspringt in unterschiedlichen Verhältnissen den jeweiligen Quellen. Bense (1998) bezieht diese Eigenschaft des Symbols zwar noch nicht auf die menschlichen Gedächtnisstrukturen. Er prägt aber den Begriff der „Semiotizität“, hinter dem sich genau der zuvor geschilderte Zusammenhang verbirgt, dass „das Symbol den höchsten Grad der Semiotizität, der Innovations- bzw. Informationsfähigkeit besitzt und Index und Ikon von in genau dieser Reihenfolge fallender Semiotizität sind.“ (Bense, 1998, S. 298). Die angefügte Tabelle (■ Tab. 4.1) soll dies noch einmal verdeutlichen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass eine Reihe von Ansätzen auf der semantischen Ebene des bewussten kulturellen Codes die jeweiligen Entitäten unterscheiden. Die aktuelle

■ **Tab. 4.1** Die Tabelle verdeutlicht, dass sich kulturelle Codes im Arbeitsgedächtnis (erst hier entsteht die aktuelle Semantik) in Hinsicht auf die Quelle der Informationsmenge (Umwelt oder Langzeitgedächtnis) unterscheiden lassen

Anteile semantischer Information im Arbeitsgedächtnis unter Angabe der Quelle (Umwelt oder LZG) der Information	Äußere kulturelle Repräsentation
$I_{sem}^{Umwelt} > I_{sem}^{LZG}$	Ikon
$I_{sem}^{Umwelt} < I_{sem}^{LZG}$	Symbol
LZG Langzeitgedächtnis, sem semiotisch	

Befundlage spricht dafür, dass sich im semantischen Gedächtnis natürliche Kategorien (wie etwa Blume oder Baum) von artifiziellen Kategorien (Auto oder Haus) unterscheiden und daher unterschiedliche neuronale Korrelate aufweisen (Kiefer, 2008). Für visuell modulierte Information kann dies mittels ereigniskorrelierter Potenziale (EKP) nachgewiesen werden. Man geht davon aus, dass bei natürlichen Objekten im Vergleich zu artifiziellen Objekten eine erhöhte „Formüberlappung“ (Kiefer, 2008, S. 91) besteht, sodass dieser Unterschied zwischen den Objekten der visuellen Wahrnehmung mit unterschiedlichen Arealen des LZG korreliert.

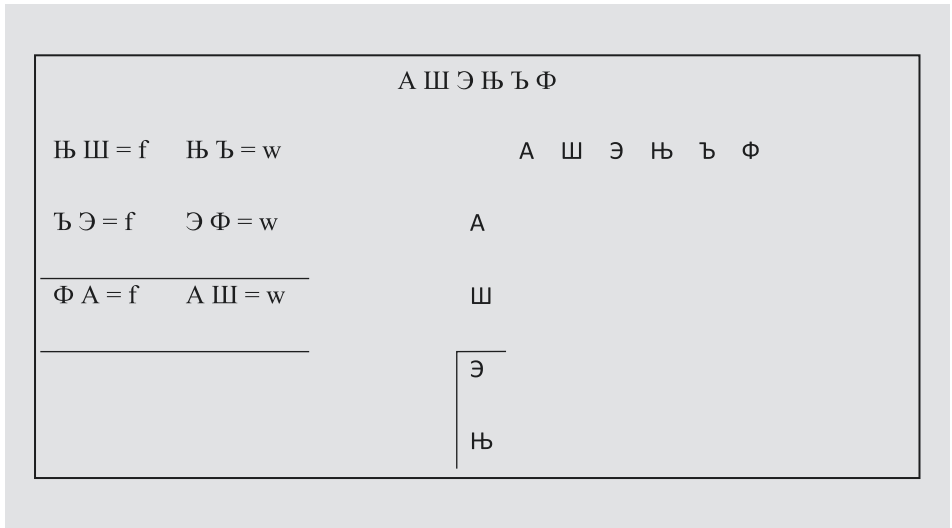
Bis hierher haben wir uns auf fertige Codes konzentriert. Der für das Problemlösen wesentliche Prozess ist die Genese und Konstruktion von Code. Dies wollen wir nun im folgenden Abschnitt vertiefen.

4.2.3 Neuer Code im Problemraum

Die für das Problemlösen relevante Frage bezieht sich auf Informationen, die noch nicht durch ein fertiges Codesystem entschlüsselt werden können. Es wäre zulässig zu schreiben, dass in gewisser Hinsicht durch Problemlösen erst ein Code entsteht. Während des Problemlösens müssen Beziehungen zwischen Informationen hergestellt werden, die zuvor noch nicht bestanden. Es ist wichtig zu beachten, dass der Mensch während des Problemlösens Verbindungen herstellt, die zu Fehlern führen und daher nur für kurze Zeit existieren sollten, nicht aber längerfristig gespeichert bzw. gelernt werden sollten. Diese Funktionen betreffen nun wieder Bereiche, die dem Bewusstsein zugänglich sind und solche, die es nicht sind. Wir beginnen zunächst mit Ansichten zur biologischen Grundlage, um anschließend auf die bewusstseinspflichtigen Prozesse einzugehen.

■ Fast-Learning System

Stellen wir uns vor, wir haben sechs kyrillische Buchstaben zur Verfügung, die drei bestimmte Paarbindungen eingehen können, aber diese eindeutigen Zweierkombinationen sind uns noch nicht bekannt. Wir müssen die zulässigen Verbindungen herausfinden, also die syntaktische Information, und dürfen frei kombinieren. Wir erhalten nach jedem Versuch ein sofortiges Feedback. Es ergibt sich ein Minimum an drei Abfragen, sofern wir sofort richtig raten und ein Maximum an sechs Fragen, sofern wir alle Kombinationen systematisch abfragen. Spielte die Reihenfolge der Buchstaben eine Rolle, so gäbe es 30 potenzielle unterschiedliche Beziehungen der Buchstaben. Dürfen die Buchstaben doppelt verwendet werden, so erhöht sich der Code sogar auf



■ **Abb. 4.6** Abgebildet sind sechs kyrillische Buchstaben. Testet eine Person mögliche Kombinationen, so ist es nach einer erfolgreichen Lösung nicht längerfristig notwendig, dass falsche Kombinationen im Gedächtnis erhalten bleiben. Bei eindeutigen Zweierkombinationen sind sechs Abfragen notwendig. Spielt die Reihenfolge keine Rolle und sind Mehrfachkombinationen möglich, so sind dreißig Abfragen notwendig. Bei doppelter Verwendung der Symbole sind es sogar sechsunddreißig Abfragen

36 Kombinationen (■ **Abb. 4.6**). Da es nicht notwendig sein wird, die unbrauchbaren Informationen der Abfrage längerfristig zu behalten, ansonsten käme es zu ungewollten Interferenzen mit Informationen im LZG, gehen Rogers u. McClelland von einem „fast-learning system“ (Rogers & McClelland, 2004, S. 65) auf neuronaler Basis aus. Dieses grenzen sie von einem „slower-learning semantic system“ (ebd., S. 65) und einem System für „rapid learning of new episodes“ (ebd., S. 66), das Überlappungen zu Systemen mit Repräsentationsfunktion weitestgehend vermeidet, ab. Es wird also schon auf neuronaler Basis von einem System für „Probearbeiten“ ausgegangen, sodass die Erzeugung von „falscher“ und „richtiger“ Information physiologisch unterstützt wird.

■ Treelet

Es kann davon ausgegangen werden, dass Informationen eine Art „zeitliche Markierung“ erhalten, damit das Bewusstsein diese wiedererlangen kann. Marcus führt hierzu ein neuartiges Register ein, das er als „Treelet“ (Marcus, 2003, S. 108) bezeichnet wird. Ein Treelet ist für ihn ein leeres Register-Set, das immer mit gleich vielen Informationen gefüllt werden kann und anschließend als kleinster kognitiver Baustein kombiniert wird. Ähnlich wie ein „Chunk“ ist auch ein Treelet völlig unabhängig vom Inhalt zu betrachten (Simon, 1974). Ein Treelet kann nun als Grundstruktur für einen Chunk angesehen werden, sodass sich diese Elemente darin unterscheiden, dass ein Chunk bewusstseinspflichtig erzeugt wird, während dies für das Treelet nicht gilt. Marcus (2003) geht davon aus, dass Treelets automatisch eine eindeutige Markierung erhalten, durch die sie identifizierbar und dadurch mehrfach verwendbar werden. Er nimmt eine Art „Grundcode“ an, der für die Enkodierung der jeweiligen Entität immer derselbe bliebe. Der Grundcode muss nicht binär sein, da ein Treelet nicht aus bistabilen Registern zusammengefügt wird, sondern ein Muster aus multistabilen Registern bildet. Für ihn kann mithilfe unterschiedlicher Verzweigungsstrukturen innerhalb eines Treelets daher jede Dimension von Information, ob perzeptuell, syntaktisch oder semantisch, enkodiert werden. Wir werden

also weiterhin an einen Chunk erinnert, aber die ursprüngliche, durch das binäre „bit“ eingeschränkte Perspektive auf Chunks findet hier ihre Erweiterung durch eine Multistabilität. Die eingeschränkte Perspektive findet sich in folgendem Zitat wieder: „The contrast of the term bit and chunk also serves to highlight the fact that we are not very definite about what constitutes a chunk of information.” (Simon, 1974, S. 51). Ist eine Entität einmal in einem Grundelement enkodiert, gibt es keine Funktion mehr, dieses Grundelement weiter zu zerlegen. Marcus (2003) geht von einer unendlich großen Anzahl unbeschriebener Treelets im kognitiven System aus. Es ist zu betonen, dass diese Ebene der Informationsverarbeitung zwischen neurobiologischer Ebene einerseits und bewusstseinsfähiger psychologischer Ebene andererseits noch sehr komplex ist und das Modell von Marcus einen ersten Versuch darstellt, Konnektionismus und Kognitivismus einander anzunähern. Da wir nun von kleinsten bewusstseinsfähigen Bausteinen einer aktiven und willentlichen Informationsverarbeitung ausgehen können und uns somit von einer Perspektive des Wachbewusstseins als Epiphänomen abgrenzen, betrachten wir im nächsten Schritt die kleinsten bewussten Funktionen, die auf diese Informationsbausteine einwirken können, die sog. Operatoren.

■ Operatoren

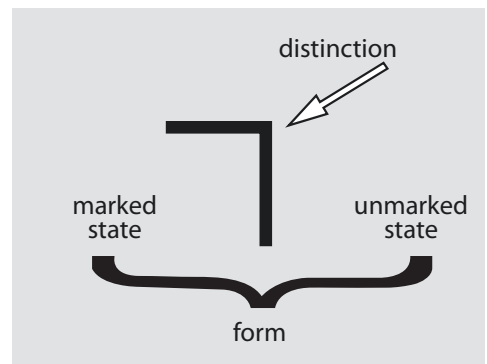
Wir schließen uns zunächst Dörner an und verstehen einen Operator als die allgemeine Form eines Handlungsprogramms, ihre konkrete Realisierung bezeichnen wir hingegen als Operation (Dörner, 1979, S. 15). Nach Wittgenstein bringt eine Operation „den Unterschied der Formen“ (Wittgenstein, 2006, S. 241) zum Ausdruck.. Betrachtet man die Wirkungsformen von Operatoren auf einem extrem hohen Auflösungs niveau, so kann auf einer elementarsten Ebene von Anfüge-, Trenn- und Tauschoperatoren gesprochen werden. Auf einem niedrigeren Auflösungs niveau können diese Operatoren einen Wandlungsoperator erzeugen. Es lässt sich wohl am einfachsten verdeutlichen, wenn man einmal die mathematische Funktion einer Multiplikation betrachtet: diese wäre auf einem höheren Auflösungsgrad als gekoppelte Addition zu verstehen, analog verhält es sich mit der Division zur Subtraktion. Ein Operator kann zunächst eine bestimmte Wirkungsbreite besitzen. So wirkt sich ein „Breitbandoperator“ auf mehr Merkmale eines Realitätsbereiches aus als ein „Schmalbandoperator“. Es ließe sich hier anhand eines Beispiels aus der Pharmazie die Wirkungsbreite von bestimmten Antibiotika im Vergleich zu hoch spezialisierter Medikation betrachten. Können die Effekte eines Operators wieder aufgehoben werden, ist er als „reversibel“ zu bezeichnen. Lässt eine Situation ein hohes Maß an Reversion zu, so kann es zu einem „Probiervverhalten“ durch die ausführende Person kommen. Je geringer die Anzahl der Bedingungen für den Einsatz eines Operators ist, umso größer ist sein Anwendungsbereich. Eine geringere Wirkungsbreite macht daher die Bildung von Zwischenzielen notwendig, sodass die notwendigen Anwendungsbedingungen gezielt entstehen können. Erst wenn auch das gewünschte Ergebnis erzielt wird, kann man von einer „Wirkungssicherheit“ des Operators sprechen (Dörner, 1979). Es ist nun wichtig zu beachten, dass sich aus hintereinander angewandten Operatoren Makrooperatoren bilden, die als Handlungsprogramm betrachtet werden können. Wir haben bereits in ► Abschn. 3.3.1 betrachten können, dass Operatoren als Heuristik in der heuristischen Struktur oder als Algorithmen bzw. Makrooperatoren in der epistemischen Struktur vorliegen können (Hussy, 1984). Doch während diese fertigen Schemata in der epistemischen Struktur (ES) liegen, sind die Operatoren in der heuristischen Struktur aktiv. Uns wird deutlich, dass sämtliches Wissen der ES mithilfe der Operatoren der heuristischen Struktur (HS) gebildet wird. Wie durch Magie scheinen sich Operatoren in Operanden verwandeln zu können. Demnach ist alles Operation, der Weg von einer Operation zu einer nächsten ist ebenso eine Operation, wie die vorhandenen Operanden. Wie dürfen wir uns dieses Verhältnis zwischen Operatoren und Operanden vorstellen?

» Beim Sehen glauben wir tatsächlich, das Unveränderte sehen zu können. Wir sehen das, was aussieht wie die feste, unbeschriebene Tafel, und nicht nur die Umrisse des Flecks. ... Der Augapfel hat einen ständigen Tremor, der Mikronystagmus genannt wird. Der Augapfel vibriert über einige Bogensekunden und verursacht dadurch, dass sich das optische Bild auf der Netzhaut relativ zu den Stäbchen und Zapfen bewegt, welche die Sinnesendorgane sind. Die Endorgane empfangen also ständig Ereignisse, die den Umrissen der sichtbaren Welt entsprechen. Wir ziehen [draw] Unterscheidungen; das heißt, wir entnehmen sie. Die Unterscheidungen, die nicht gezogen werden, existieren nicht. (Bateson, 1987, S. 120; Ergänzung von Bateson, 1987)

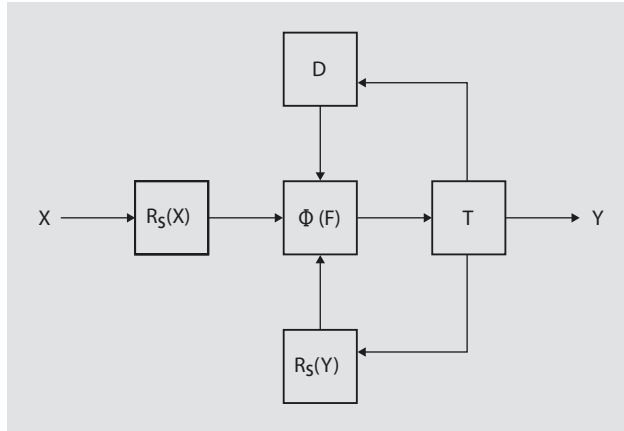
Auch bei Bateson (1987) begegnet uns Spencer-Browns (1969) Imperativ und wird in ein direktes Verhältnis zur Wahrnehmung gebracht. Jede Information, die wir der Umwelt entnehmen, entspricht zwei Teilen: der Markierung und der Nichtmarkierung (■ Abb. 4.7). Die essenziellste Operation ist also als Unterscheidungsoperation („distinction“) zu betrachten. Da erst die Markierung zusammen mit der Nichtmarkierung eine Einheit, die Form, bildet, bedarf es der Möglichkeit zwischen beiden Zuständen zu wechseln. Das erkenntnisfähige System muss dynamisch sein und zwischen den Zuständen oszillieren dürfen (Baecker, 2008; Strogatz, 2004). Konstruiert sich nun im Individuum über die Information eine Wissensstruktur, ein Schema, so ist dies als Transformation von Operatoren zu einem Operanden zu verstehen. Eine Form enthält somit immer zwei Seiten. Ein spezifischer Gedächtnisinhalt in der epistemischen Struktur könnte demnach als „Festhalten“ von Entscheidungen zwischen diesen Seiten interpretiert werden.

Ein „Festhalten“ in der hier beschriebenen Weise ist zudem sehr deckungsgleich mit der Ansicht, dass eine Objektklasse, letztlich die kleinste gemeinsame Invarianz der zur Klasse gehörenden Objekte abbildet. Insgesamt zeigt sich, dass das Festhalten und anschließende Verarbeiten von Information durch Operatoren ein subjektiver Prozess ist. Es müssen bestimmte Referenzen erzeugt werden, denn letztlich ist jede Information eine subjektive Information, die ein System auf sich selbst, sein „Wissen“ und seine Ziele hin interpretiert. Die Information wird gewissermaßen von ihrem Träger „gehoben“ (Foerster & Müller, 2008, S. 127) und der empfangende Organismus führt sich diese über einen subjektiven Prozess zu. Wir können wieder auf unseren Begriff der strukturellen und der funktionalen Information zurückgreifen: während aus der strukturellen Information im Übergang zum Organismus funktionale Information entsteht, findet scheinbar eine „Kopie“ der Information statt. Wir haben diese bereits in ► Abschn. 4.2.1 im Prozess der Entmaterialisierung als „freie Information“ kennengelernt. Einen kognitiven Baustein, der die

■ Abb. 4.7 Erst Markierung (*marked state*) und Nichtmarkierung (*unmarked state*) erlauben die Konstruktion einer Form



■ **Abb. 4.8** Zu sehen ist ein kognitiver Baustein, der nach Foerster u. Müller (2008) als kognitive Fliese bezeichnet wird. D Funktion der Verzögerung („delay“) bzw. Aufrechterhaltung der vorherigen Information, $R_S(X)$ Relation zum „Selbst“, $R_S(Y)$ Relation von internen Informationen mit internen Zuständen, T Transformation der Information (Input-Output-Sprache), $\Phi(F)$ Menge an Funktionen, X Input, Y Output. (Mit freundlicher Genehmigung durch Karl H. Müller)



Anforderung einer Einbindung des „Selbst“ berücksichtigt, wird von der Kybernetik zweiter Ordnung geliefert, den wir im Folgenden kurz betrachten wollen.

■ Genetischer Code

Als wohl entscheidendsten Punkt kognitiver Prozesse betrachtet die Kybernetik zweiter Ordnung (SOC) die Fähigkeit eines Organismus, einem Träger Informationen zu entnehmen und aus diesen Informationen Inferenzen zu errechnen oder zu schätzen. Im gemäßigten Konstruktivismus bezeichnet Piaget dies als „Internalisierung“ (Piaget, 1975). Diese Berechnungen beruhen nicht auf einem statischen System, sondern das System selbst ist adaptiv. Für die SOC müssen demnach die kleinsten kognitiven Bausteine als adaptive Einheiten bestehen, die die Fähigkeit besitzen, alle Formen relationaler Strukturen zu repräsentieren. Ein solcher Baustein bzw. ein solches System empfängt zunächst einmal eine Information „ X “, eine sensorische Information, und gibt eine Information „ Y “ ab. Ein solches System grenzt sich eindeutig von einem Stimulus-response-System ab. Hierzu wollen wir ■ Abb. 4.8 etwas genauer betrachten.

Das in ■ Abb. 4.8 vorgestellte System wird von Foerster u. Müller (2008) metaphorisch als „kognitive Fliese“ bezeichnet, die zusammen mit vielen Fliesen ein „kognitives Mosaik“ bilden. Wie haben wir uns die Funktion eines solchen kognitiven Bausteins vorzustellen? Wären in einem einfachen „stimulus-response-System“ der Input „ X “ und der Output „ Y “ einer einfachen Kausalrelation bzw. einem statischen Code zuzuordnen, so spricht die SOC in diesem System von einer „generativen Relation“. Eine solch generative Relation entsteht durch Rekursivität im System. Das System verfügt in gewisser Hinsicht über zwei Informationsquellen: eine sensorische Information „ X “ wird in einem ersten Schritt „ $R_S(X)$ “ in Relation zum „Selbst“ interpretiert. Die Selbstreferenz wird im System mit der Notation „ S “ kenntlich gemacht. Eine interne Information „ Y “ ergibt sich aus den internen Zuständen des Systems, man könnte auch sagen aus seiner Historizität oder seinen Eigenwerten. Über einen Schritt „ $R_S(Y)$ “ werden somit interne Informationen mit internen Zuständen, die auch als interne Ziele betrachtet werden können, in Relation gebracht. Diese beiden Informationsquellen geben ihren Output an das Herzstück des Systems weiter. Diese zentralste Komponente wird als „recursive function computer“ (Foerster & Müller, 2008, S. 130) bezeichnet, der über eine Menge an Funktionen „ Φ “ verfügt, mit denen er die empfangene Information aus den beiden bereits genannten Quellen verrechnet. Wichtig ist, dass diese Recheneinheit nicht nur die beiden Informationsquellen berücksichtigt, sondern eine dritte Instanz als Kontrollinstanz entsteht, die der Recheneinheit ihren vorherigen Output noch

einmal zur Verfügung stellt. Dies geschieht über einen eigenen Kanal, dessen Funktion „D“ einzig in einer Verzögerung („delay“) bzw. Aufrechterhaltung der vorherigen Information liegt. Hierdurch kann die Recheneinheit ihre eigenen Aktionen bewerten bzw. bemessen. Es ist ersichtlich, dass derselbe sensorische Input „X“ aufgrund der unterschiedlichen internen Zustände zu einem völlig anderen Output „Y“ führen kann. Die Relationen bilden sich nun nicht mehr in einem „statischen Code“ ab, sondern in einem „konstruktiven Code“, den Foerster aufgrund seiner generischen Eigenschaft ebenfalls als „genetic code“ (Foerster & Müller, 2008, S. 129) bezeichnet. Das Auftreten der entscheidenden Eigenwerte im System sehen Foerster u. Müller (2008) als Theorem an und beziehen sich dabei auf Vorarbeiten von John von Neumann und Francisco Varela (Foerster & Müller, 2008). Für Foerster u. Müller repräsentieren Eigenwerte ein Äquilibrium, die dem System die Möglichkeit zur Herstellung diskreter Zustände verleihen, sodass das System aus einem Kontinuum unendlicher Möglichkeiten diskrete Werte rekursiv „aussiebt“ (Foerster & Müller, 2008, S. 134). Das für uns Interessante an diesem kognitiven Baustein ist die Möglichkeit der direkten Evaluation von Information durch die Komponente „R_S(Y)“. Hierbei ist die direkte Verwandtschaft zur evaluativen Struktur nach Hussy (1984) zu erkennen, wobei nun nicht mehr eine komplett eigene Struktur zur Analyse der Information notwendig wird, sondern eine unmittelbare Verwobenheit von epistemischer und evaluativer Struktur angenommen werden kann. Ebenso verhält es sich mit der heuristischen Struktur. Auch diese ist unmittelbar in dem Baustein „recursive function computer“ wiederzufinden. Foerster u. Müller (2008) gehen davon aus, dass alle Operationen als koordinierende Operationen betrachtet und insgesamt als „COORD“ bezeichnet werden können. Alles, was hingegen als Output „Y“ beobachtet werden kann („observed“), wird zunächst als „obs“ bezeichnet. „obs“ wird als externe Manifestation von „COORD“ verstanden und vice versa. Wichtig ist, dass eine Beobachtung immer von ihren vorherigen Erfahrungen abhängig ist. Folgende Beobachtungen sind somit koordinierende Operationen vorheriger Beobachtungen. Die einzelne Beobachtung ist immer ein diskreter Zustand, ein Fixpunkt, in dem sich eine Struktur nur herausbilden kann, wenn ein Äquilibrium, ein stabiles Verhalten, besteht. Es entsteht folgende Formel (Gl. 4.4) mitsamt ihren Ableitungen (Gl. 4.5):

$$\text{obs}_1 = \text{COORD}(\text{obs}_0) \quad \text{Gl. 4.4}$$

$$\text{obs}_2 = \text{COORD}(\text{obs}_{(1)}) = \text{COORD}(\text{COORD}(\text{obs}_0)) \quad \text{Gl. 4.5}$$

Foerster u. Müller (2008) verweisen darauf, dass die Eigenwerte eines Systems demnach als Äquilibria zu verstehen sind, sodass diese Eigenwerte bzw. Invarianten durch Rekursion erzeugt werden (Foerster & Müller, 2008, S. 140). Erst eine Oszillation zwischen zwei Zuständen erlaubt somit die Herstellung einer Stabilität. Piaget (1975) nutzt exakt dieselbe Notation und weist darauf hin, dass „obs“ ein sofortiges Beobachten ermöglichen, während in „COORD“ Inferenzen inkludiert und diese somit reichhaltiger sind. Hieraus ergibt sich für ihn ein Unterschied zwischen dem „Wahrnehmbaren“ und dem „Beobachtbaren“. Das „Beobachtbare“, das „obs“, ist für Piaget das, was das Subjekt „als wahrgenommen glaubt“. Die ersten Möglichkeiten des Beobachtens sieht er daher teilweise als angeboren an, alle weiteren Beobachtungen sind fortschreitende Inferenzen des Beobachters. Ein Subjekt kann demnach wahrnehmen, ohne seine Wahrnehmung beobachten zu können (Piaget, 1975). Wir wollen uns in einer kleinen Tabelle (■ Tab. 4.2) noch einmal kurz den Unterschied zwischen den Kausalrelationen in einem Stimulus-response-System und den „generativen Relationen“ in einem selbstreferenziellen System vergleichend anschauen.

■ **Tab. 4.2** Kausalbeziehungen und generative Relationen lassen sich tabellarisch in ihren Eigenschaften gegenüberstellen. Die Eigenschaften sind der Vollständigkeit halber in ihrer Gesamtheit aufgeführt, müssen aber nicht im Detail erläutert werden. (Nach Foerster & Müller, 2008)

Kausal (A→B)	Generativ (obs. A, obs. B)
Asymmetrisch in der Zeit (Vorzeitigkeit)	Symmetrisch in der Zeit
Unterteilung in Ursache und Wirkung	Keine Ursache und Wirkung
Ursache ist notwendig und/oder hinreichend	Wechselseitige Abhängigkeit
Der Beobachter wird ausgeschlossen	Der Beobachter wird integriert
Nicht-rekursiv	Rekursiv
Offen	Geschlossen
Generalisierungen	Eigenformen

■ Beobachter

Eine oft zitierte Definition eines Beobachters findet sich bei Pask (1965), der darunter folgendes Konstrukt versteht: „men, animals and machines able to learn about their enviroment and impelled to reduce their uncertainty about events which occur in it“ (Pask, 1961, S. 18). Ein Beobachter wäre demnach nichts anderes als ein Problemlöser, der die Unsicherheit einer Barriere in seiner Umgebung mithilfe von generierender Kodierung überwindet. Wird Problemlösen als „Verringerung von Unsicherheit“ verstanden, so ist es immer mit einem Lernprozess verbunden. Die Umgebung (E) sollte nach Foerster u. Müller (2008) unterteilt werden in die „reale Welt“ (W), die „kognitiven Prozesse“ (C) und die „Beschreibungen des Organismus“ (D). Wir erinnern uns an ► [Kap. 2](#) (► [Abschn. 2.1](#)), dort haben wir die reale Welt als objektives Modell (OM) und die kognitiven Prozesse als mentale Modelle (MM) beschrieben. Die Dimensionen der Umgebung interagieren (E: W, C, D) und sind letztlich determiniert durch das Wahrnehmungspotenzial des Organismus (W:C), durch das Verhaltenspotenzial (W:D) und durch das kognitive Potenzial (C:D). Wir betrachten nun noch einmal den Titel des Aufsatzes von Conant aus ► [Kap. 3](#) „Every good regulator of a system must be a model of that system“: der Problemlöser benötigt ein Modell des Systems, das er beobachtet und ein Modell des Systems in der Verbindung des Beobachters dieses Modells, der als Beobachter erster Ordnung zu bezeichnen ist. Dieser Beobachter erster Ordnung wird nun vom Beobachter zweiter Ordnung bewusst beobachtet. Hierzu lesen wir bei Maturana (2000):

» Alles, was gesagt wird, wird von einem Beobachter gesagt, und zwar zu einem anderen Beobachter, der er selbst sein könnte. ... Ein Beobachter ist generell jedes Lebewesen, das in Sprache operiert, oder im besonderen jeder Mensch, wenn wir verstehen, daß Sprache Menschsein definiert. In unserer Selbsterfahrung als Menschen erleben wir uns stets in Sprache. Wir erleben nicht, wie wir in die Sprache hineinwachsen, wir sind immer schon Beobachter und leben in Sprache, wenn wir anfangen, über die Sprache und unsere Situation als Beobachter nachzudenken. Mit anderen Worten, was immer in der Lebenspraxis des Beobachters geschieht, geschieht in Form von Unterscheidungen in Sprache durch Sprachhandeln. (Maturana, 2000, S. 157f.)

Wieder begegnet uns als die grundlegendste aller Operationen die Unterscheidung. Für eine bewusste Operation ist somit nach Maturana (2000) Sprache notwendig. Uns interessieren später

ausschließlich die bewusst zu lösenden Probleme. Probleme, die bewusst gelöst werden können, sind also in Sprache übersetzt bzw. „übersetzbar“. Sprache darf hier entsprechend weit verstanden werden. Für jede Problemlösung existiert somit deklaratives Wissen, auch wenn dieses anschließend in prozedurales Wissen überführt und später als deklaratives Wissen nicht mehr abrufbar ist. Ein solcher Prozess würde praktisch zu einem automatisierten Problemlösen führen. Löst ein Problemlöser hingegen ein Problem, ohne dass er sich jemals dessen bewusst gewesen ist, so bleibt dieses Problemlösen zwar für einen externen Beobachter beobachtbar, für den Problemlöser selbst bildet es sich aber gar nicht erst deklarierbar ab und ist daher auch nicht für die Person reproduzierbar, für den externen Beobachter aber durchaus. Die von Pask (1961) benannte „Unbestimmtheit“ in der Umgebung lässt sich nur durch passende Information reduzieren, hierbei baut sich Wissen, Epistema, auf. Das Besondere an den zuvor dargestellten Wissensbausteinen ist die Möglichkeit, dass diese als finite Automaten verstanden werden können. Diesem Konstrukt wollen wir uns nun zuwenden.

■ Finite Automaten

Foerster u. Mülloer (2008) bezeichnen ihren kognitiven Baustein auch als finiten Automaten und schreiben ihm zwei Basisfunktionen zu, eine „treibende Funktion“ und eine „Zustandsfunktion“. Die „treibende Funktion“ lautet (Gl. 4.6):

$$y = f_y(x, z) \quad \text{Gl. 4.6}$$

Für jeden Augenblick gibt es einen Output „Y“, der sich aus der Eingabe „X“ und den internen Zuständen „Z“ ergibt. Durch die Abhängigkeit der internen Zustände „Z“ von der Eingabe „X“ und dem Output „Y“ ergibt sich eine Rekursivität von „Z“ auf die vorherigen Zustände des Systems. Hieraus ergibt sich die „Zustandsfunktion“ (Gl. 4.7):

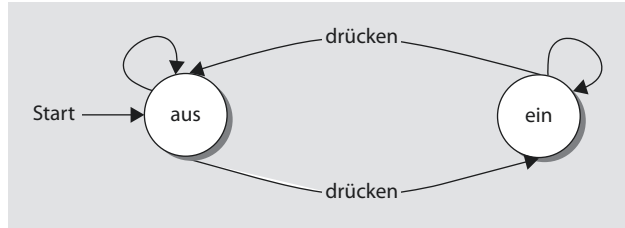
$$z = f_z(x^*, z^*) \Leftrightarrow z' = f_z(x, z) \quad \text{Gl. 4.7}$$

Der aktuelle Augenblick dieses als finiten Automaten verstandenen kognitiven Bausteins ergibt sich also aus seinem vorherigen Zustand und der vorherigen Eingabe, und dementsprechend wird sich sein zukünftiger Zustand durch den aktuellen Eigenwert und die aktuelle Eingabe ergeben. Es wird betont, dass ein solches System keine weiteren Repräsentationen vergangener Ereignisse benötigt, sodass die Referenz zum Vergangenen einzig über diese Funktionen hergestellt ist (Hoffmann, 1998). Dies ist wohl generell die wichtigste Eigenschaft finiter Automaten, dass sie sich als Systeme ohne Speicher auszeichnen und ihr Verhalten nur von der Eingabe, aus einer endlichen Menge von Eingabesymbolen „ Σ “, und dem aktuellen Zustand, aus einer endlichen Menge von Zuständen „ Q “, abhängt. Der Startzustand (q_0) des Automaten entstammt der Menge „ Q “. Ebenso befindet sich die Menge der finalen Zustände „ F “ in der Menge „ Q “. Die treibende Funktion wird auch oftmals als „Übergangsfunktion“ (δ) bezeichnet (Hopcroft et al., 2002). Ein finiter Automat lässt sich demnach wie folgt notieren (Gl. 4.8):

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) \quad \text{Gl. 4.8}$$

Finite Automaten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt nur einen Zustand einnehmen können, werden als „deterministische endliche Automaten“ (DEA) bezeichnet. Endliche Automaten, die gleichzeitig mehrere Zustände besitzen können, bilden hingegen die „nichtdeterministischen endlichen Automaten“ (NEA). Ein NEA kann allerdings in einen DEA transformiert werden (Hopcroft et al., 2002). Wir wollen einen solchen DEA nun etwas genauer betrachten: Bei allen

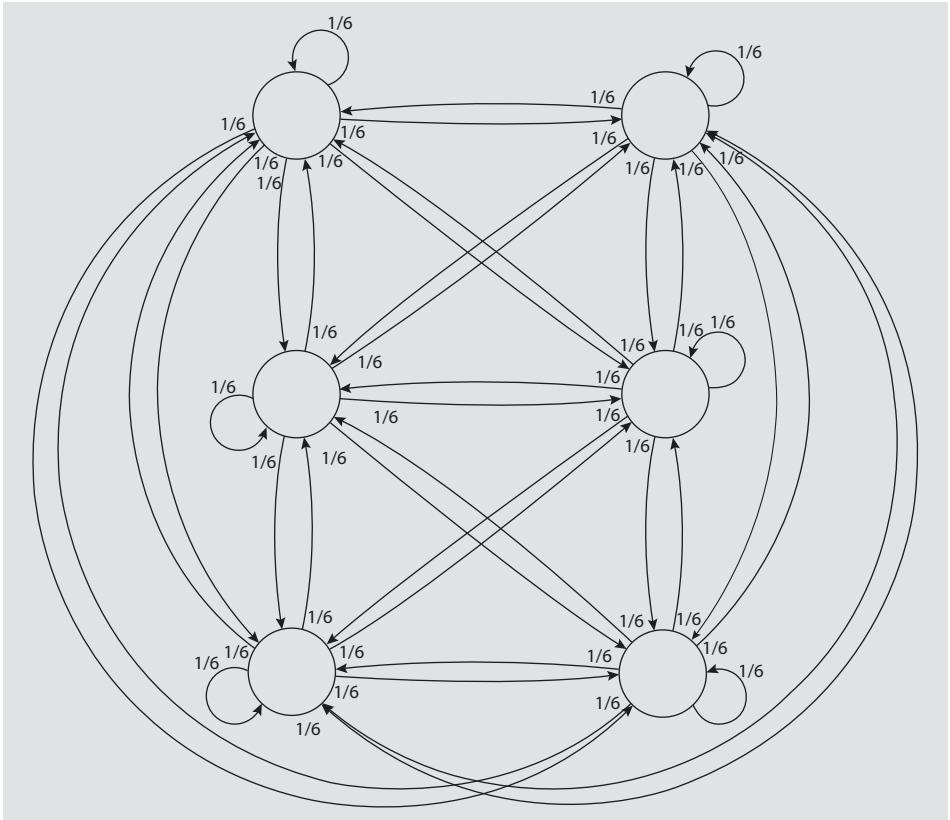
■ **Abb. 4.9** Die Abbildung zeigt einen finiten Automaten, der die Zustände ein und aus über die Prozesse drücken erreicht. Der Start befindet sich in diesem Beispiel im Zustand aus



finiten Automaten werden Zustände grafisch als Kreise dargestellt, soll ein letzter Zustand, als „finaler“ oder „akzeptierender Zustand“ bezeichnet, dargestellt werden, so erscheint dieser in einem doppelten Kreis. Stellen wir uns z. B. einen sehr einfachen finiten Automaten mit zwei Zuständen vor – dieser wäre ein konventioneller Lichtschalter – so hätte dieser zwei Zustände und keinen finalen Zustand. Es bietet sich manchmal an, zusätzlich einen „Startzustand“ einzuzichnen (Hopcroft et al., 2002). Eine solche Darstellungsweise kann auch als MASON-Diagramm bezeichnet werden (Bischof, 1995). Das Ergebnis sähe wie die folgende Abbildung (■ **Abb. 4.9**) aus.

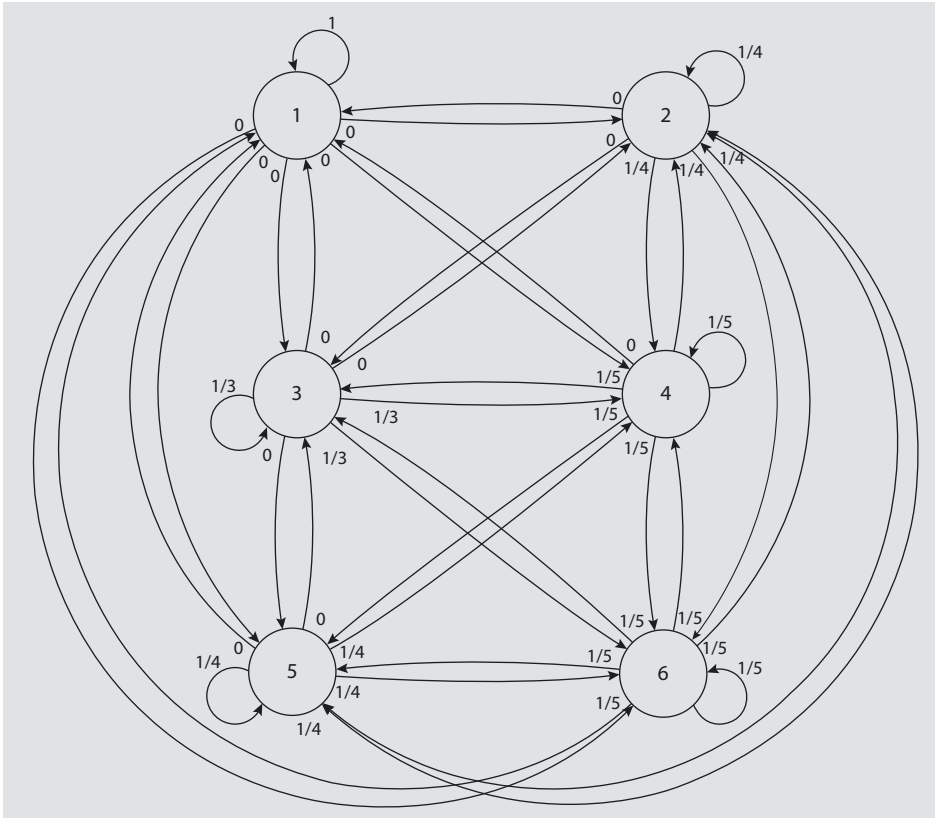
Ein einfacher finiter Automat mit zwei Zuständen, z. B. ein Lichtschalter oder eine Tür, verweilt entweder in seinem aktuellen Zustand, dies ist in ■ **Abb. 4.8** durch die rekursiven Pfeile dargestellt, oder wechselt zwischen den Zuständen. Im einfachsten Falle der Gleichwahrscheinlichkeit entspricht die Wahrscheinlichkeit des Wechsels in den nächsten möglichen Zustand der Anzahl der abgehenden Pfeile, hier entsprechend 5; so bleibt das Licht zu 50 % im nächsten Zustand ausgeschaltet oder es wird eingeschaltet (Ash, 1990). Stellen wir uns ein System mit sechs gleichwahrscheinlichen Variablen vor, so ergibt sich schon nur noch ein Faktor von ca. 16 % für den nächsten Zustand. Die Komplexität eines so kleinen Systems führt uns ■ **Abb. 4.10** vor Augen. Sollte eine Person den nächsten Zustand erraten, so besteht eine Wahrscheinlichkeit von 1/6, dass der nächste Zustand richtig vorhergesagt wird. Wir brauchen uns einfach einen Würfel vorzustellen und wir müssten den nächsten Wurf vorhersagen, unsere Unsicherheit wäre dementsprechend hoch.

Interessant ist nun die Vorstellung, dass im Zuge eines Zusammenfügens von kognitiven Bausteinen zu einem Mosaik eine epistemische Struktur entstehen kann, die somit ein Zusammenspiel von finiten Automaten darstellt (Chomsky, 1956; Foerster & Müller, 2008). Es ist also denkbar, dass ein Teil kognitiver Prozesse (C) oder mentaler Modelle (MM) auf finiten Automaten beruht. Für unsere Betrachtung ist dies wohl einer der wichtigsten Bausteine, um das Zusammenspiel zwischen AG- und LZG-Struktur während des Prozesses des Problemlösens genauer in den Blick nehmen zu können. Denn wir folgen der Annahme, dass sich durch das Zusammensetzen von kognitiven Bausteinen zu einem finiten Automaten letztlich eine Wissensstruktur entwickelt. Betrachten wir noch einmal den Automaten zum Würfel. Nachdem wir den Wechsel in den nächsten Zustand erfahren haben, hat sich für uns Unschärfe reduziert, es hat Informationsübertragung stattgefunden. Der finite Automat als Wissensstruktur kann auch als ein Wahrscheinlichkeitsfeld bezeichnet werden (Peukert, 1978). An dieser Stelle schließt sich der Kreis zum humankybernetischen Informationsmaß „I“ aus ► **Abschn. 4.3.1**, wo uns die Mitrealität eines Zeichens begegnet ist. Eine Information ist hier immer im Verhältnis zu seinem relevanten System zu betrachten. Befindet sich also der Würfel im Zustand „2“ und wechselt er anschließend in den Zustand „4“, so gab es in diesem vorliegenden System nach der Formel XI. (► **Abschn. 4.2.1**) eine Informationsverarbeitung von 15,48 bit. Da der Würfel in seinem Verhalten gleichwahrscheinlich bleiben wird, können wir den nächsten Wurf allerdings mit keiner größeren Wahrscheinlichkeit vorhersagen. Es lässt sich in diesem System keine Redundanz auffinden. Interessant wird es, wenn wir durch unsere Beobachtung nach vielen Zügen eine gewisse Systematik im Verhalten des



■ **Abb. 4.10** Die Abbildung zeigt einen finiten Automaten, dessen Übergänge gleichwahrscheinlich sind

Würfel feststellen könnten. Hätte der Würfel z. B. einen Defekt und würde, nachdem er einmal die Eins gezeigt hat, immer die Eins fallen, wäre dieses Verhalten absolut deterministisch. Die Eins wäre demnach sogar ein finaler Zustand und der darauffolgende Zustand wäre immer Eins. Es würde überhaupt keine Informationsverarbeitung mehr stattfinden, da es keine Unschärfe mehr im System gäbe, das System bestünde nur noch aus Redundanz. Das zukünftige Verhalten des Systems würde sich vollständig aus unserem Systemwissen ableiten lassen. Solange der Würfel allerdings nicht die Eins anzeigt, konnten wir weitere Regelmäßigkeiten und somit weitere Redundanz in seinem Verhalten feststellen: Nach einer Drei, folgt die Vier, die Sechs oder die Drei. Nach einer Zwei folgt die Vier, die Fünf, die Sechs oder wieder sie selbst. Die Fünf verhält sich ebenso. Auf Vier folgt die Zwei, die Drei, die Fünf oder die Sechs oder sie selbst. Hier verhält sich die Sechs ebenso. Negativ ausgedrückt erscheint das System schon ordentlicher: Auf eine Drei folgen Eins, Zwei und Fünf nicht. Auf die Zwei oder die Fünf folgen Eins und Drei nicht. Auf Sechs und Vier folgt lediglich die Eins nicht. Im Vergleich zum Würfel ohne Defekt, erzeugt der defekte Würfel Wiederholungen in seinem Verhalten, die als Redundanz zu verstehen ist. Konstruiert ein Beobachter nun ein internes Modell des Würfels als finiten Automaten, so würden sich hier alle Wahrscheinlichkeiten der Übergänge abbilden. Das Verhalten ließe sogar eine Klassenbildung zu. Die Ziffern Zwei und Fünf könnten eine gemeinsame Verhaltensklasse bilden, ebenso wären die Ziffern Vier und Sechs einer Klasse zuzuordnen. Wir wollen uns den resultierenden Automaten als MASON-Diagramm in ■ [Abb. 4.11](#) vergegenwärtigen.



■ **Abb. 4.11** Es wird ein finiter Automaten zu einem defekten Würfel dargestellt. Der Defekt führt zu ungleich verteilten Zuständen im System, er bedeutet demnach Redundanz. Im Vergleich zu einem defektfreien Würfel liegt daher eine durchschnittlich geringere Informationsverarbeitung bei der Auswertung des nächsten Wurfes vor, sobald alle Wahrscheinlichkeiten als Wissensstruktur im Empfänger angelegt sind

Nehmen wir an, dass wir vor einer Beobachtung eines Würfels keinen Defekt erwarten, wir gehen von gleichwahrscheinlichen Übergängen aus und unser finiter Automat entspricht der **Abb. 4.10**. Durch die Beobachtung eines „natürlichen“ Würfels verändert sich unser Wissen zu einem solchen Würfel nicht, unser Modell bleibt unverändert. Eine fehlerfreie Beobachtung eines defekten Würfels mit dem oben geschilderten „Verhalten“ würde allerdings zu einer Anpassung des gleichwahrscheinlichen Modells führen, so wie es in **Abb. 4.11** dargestellt ist. Das neue Modell würde wesentlich mehr Redundanz beinhalten und die durchschnittliche Informationsverarbeitung würde sich von 15,48 bit reduzieren auf eine durchschnittliche Informationsverarbeitung von 10,22 bit. Wir haben die Möglichkeit, dass wir einen aktuellen Zustand des finiten Automaten als aktiven Teil einer Gesamtstruktur betrachten, ganz analog der Vorstellung, dass das AG als aktiver Teil des LZG betrachtet werden kann. Ein solches System befindet sich immer in einem bestimmten Zustand und kann in weitere Zustände übergehen. Diese Übergänge sind an entsprechende Wahrscheinlichkeitsfelder gebunden.

Wir dürfen uns an dieser Stelle noch einmal an den Titel von Conant erinnern: „Every good regulator of a system must be a model of that system“ (Conant & Asby, 1970). Als Regulator würden wir in diesem Fall eine Person verstehen, die ein Modell des äußeren Systems

durch Beobachtung gewonnen hat und zukünftige Zustände soweit vorhersagen kann, wie es das System dies von seinen Eigenschaften her zulassen würde. Es gibt außerhalb einer Person Systeme, die ein absolut deterministisches Verhalten aufzeigen und entsprechend gut „vorhersagbar“ sind. Zudem lassen sich Systeme finden, deren Verhalten nicht deterministisch ist oder einen noch versteckten Determinismus aufweisen. Es soll an dieser Stelle kurz der Unterschied zwischen individueller und gesellschaftlicher Ebene erwähnt werden. Es gibt einen gesellschaftlichen Planungsraum, der in seiner Gesamtheit von keinem Individuum zu durchschauen ist. Somit existieren in jedem Individuum Problemräume, die in anderen Individuen Planungsräume darstellen. Den Problemraum, in den die ganze Menschheit noch keine Einsicht gefunden hat, wollen wir als „zivilisatorischen Problemraum“ bezeichnen. Dieser Aspekt sei hier der Vollständigkeit halber kurz erwähnt, wir werden im weiteren Verlauf durchgängig die individuelle Ebene betrachten.

Erst in Systemen, die der Mensch als deterministisch durchdrungen hat, kann er ohne Unsicherheit planen, wir wollen dies als Antizipation bezeichnen. Ein solches System beinhaltet folglich auch keine Barriere mehr, es ist problemfrei geworden. In solchen Räumen könnte menschliches Verhalten auch als „trial-no-error“ bezeichnet werden, das Wissen über das System erlaubt einen fehlerfreien Umgang. Systeme, die noch Stellen der Unsicherheit beinhalten, können nicht vollständig antizipiert werden. Hier kann ein Mensch unter Verwendung seines Vorwissens mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitswerten weitere Zustände „prognostizieren“. Die Stellen im System, die noch mit Unsicherheit belastet sind, können wir auch als Barriere bezeichnen; sie beinhalten noch immer das Potenzial einer Fehlvorhersage. Es wird demnach noch immer „trial-and-error“-Verhalten auftreten. Der Übergang von der Prognose zur Antizipation scheint von gradueller Natur zu sein. Durch Versuch-Irrtum-Beobachtung können Barrieren im System aufgehoben werden. Aufgrund der bisherigen Darstellung wollen wir unsere Formel zum Problem aus ► [Kap. 2](#) noch um den Wert des Antizipationspotenzials erweitern. Ein wissender Lehrer kann ein System völlig durchdrungen haben, während sein Schüler lediglich zukünftige Systemzustände prognostizieren kann. Ein solches System hätte den Maximalwert des Antizipationspotenzials (AZP), den wir mit 1 festlegen wollen ([Gl. 4.9](#)):

$$PU = f(EZ, RPZ, VAPZ, \text{Vernetztheit}, \text{Dynamik}, \text{Transparenz}, \text{AZP})$$

Gl. 4.9

Wir haben uns nun die Perspektive erarbeitet, dass ein externes System außerhalb einer Person, mithilfe der Deliberation von Information internalisiert werden kann; es entsteht ein internes Modell. Ist das Verhalten des Systems deterministisch, so kann es sich ein Beobachter durch eine aufmerksame Beobachtung erschließen. Ein probabilistisches System kann ebenso internalisiert werden, es besteht aber zunächst noch aus unvorhersehbaren Zuständen. Die Unvorhersehbarkeit ergibt sich aus „Nicht-Wissen“ bzw. einer Barriere. Wir haben bereits an früherer Stelle erkennen können, dass ein Problem höchst individuell und somit von der Person abhängig ist. Was einer Person A als Problem erscheint, stellt für eine Person B nur eine Aufgabe dar, da sie schon entsprechendes Wissen aufgebaut hat. Während Person B über einen Algorithmus und damit über eine volle Einsicht verfügt, gibt es für Person A zwei Möglichkeiten: sie wird von einer anderen Person instruiert und verfügt somit über alle notwendigen Informationen, das Problem in eine Aufgabe zu transformieren oder Person A muss sich alle notwendigen Informationen erarbeiten; wir wollen dies als Exploration bezeichnen. Dies geschieht über einen Prozess, der als Heuristik bezeichnet wird, ein Konstrukt, das uns bereits kurz in ► [Abschn. 3.2.3](#) begegnet ist und im kommenden Abschnitt näher betrachtet wird.

4.3 Problemlösendes Denken – vom Problemraum zum Planungsraum

Wir haben zu Beginn von ► [Abschn. 4.2](#) das Konstrukt Problemraum kennengelernt. Um uns dem Konstrukt Raum weiter nähern zu können, sind uns viele weitere Konstrukte begegnet. Betrachten wir mithilfe dieser Konstrukte nun noch einmal den Problemraum, so liegt dieser im Bereich des Unsichtbaren. Der Person fehlt die Einsicht. Es ist der Bereich der Intransparenz. Eine problemlösende Person benötigt die Möglichkeit, sich durch einen zunächst intransparenten Raum zu bewegen. Sie erschließt sich den Raum mithilfe sog. Heuristiken. Metaphorisch betrachtet, ist dies eine Art Taschenlampe, die den intransparenten Raum beleuchtet. Wir werden an späterer Stelle sehen, dass diese Taschenlampe allerdings nicht nur die Formen des Raumes beleuchtet, sondern eher wie eine Art Beamer, selbst Formen in den Raum wirft. Die einfachste Form einer Heuristik ist uns schon an sehr vielen Stellen begegnet, es ist die Unterscheidung. Bei Maturana ([2000](#)) begegnet uns hierzu sehr passend folgender Abschnitt:

- » Aus alledem folgt schließlich, daß es ohne die Unterscheidung einer Einheit überhaupt keinen Raum gibt, und daß die Vorstellung einer Einheit ohne und unabhängig von einem Raum ebenso wie die Vorstellung eines leeren Raums unsinnige Vorstellungen sind. Ein Raum ist ein Bereich von Unterscheidungen. (Maturana, [2000](#), S. 167)

Ein Problem ist für uns eine Barriere. Diese wäre somit ein Bereich in dem noch keine weitere Unterscheidung getroffen worden ist außer der, dass diese Barriere im Bereich des „Nichtwissens“ liegt. Das Problem besteht insofern an der Grenze des Wissens und es entsteht Wissen, sobald das Problem gelöst worden ist. Die folgende Abbildung (► [Abb. 4.12](#)) verdeutlicht diesen Zusammenhang noch einmal mit der Notation nach Spencer-Brown, der Bereich der Unterscheidungen ist das Wissen.

Problemlösen kann daher verstanden werden als das Entstehen von Einsicht in einen Bereich, der zunächst dunkel bzw. intransparent gewesen ist. Uns sind schon in ► [Abschn. 3.3.1](#) verschiedene Formen des Wissens im Zusammenhang mit dem MEKIV-Modell begegnet. Bei Putz-Osterloh et al. ([1988](#)) wird ein Problemraum noch wie folgt definiert:

- » Ein Problemraum wird als aktive Konstruktion des Problemlösers verstanden, der aus der Übersetzung vorgegebener Information in eine subjektive Sprache, die durch Wissen definiert ist, entsteht. Ein Problemraum enthält immer die subjektive Abbildung der o. g. drei Komponenten [Anfangszustand, Zielzustand, Barriere] von Problemen und zusätzliches Wissen eines Problemlösers, das an die Komponenten geknüpft ist. (Putz-Osterloh et al., [1988](#), S. 250; Anmerkung des Autors).

Problemlösen in einem Problemraum ist somit auch für Putz-Osterloh et al. ([1988](#)) an Sprache gebunden, auch wenn diese als „subjektive Sprache“ verstanden werden kann. Wichtig ist, dass



■ **Abb. 4.12** Raum entsteht erst durch eine Unterscheidung. Eine Unterscheidung ist der erste Schritt zum Wissen

an die drei Komponenten des Problems das Wissen der Person angeknüpft wird. Wir müssen also an dieser Stelle versuchen, noch etwas tiefer in den Prozess zu schauen und neben den uns bisher schon bekannten Formen des Wissens, eine kleine Erweiterung vornehmen. Eine zentrale Rolle spielten bislang das Bezeichnungswissen, das als deklaratives Wissen bezeichnet wird, und das Veränderungswissen (Putz-Osterloh et al., 1988), auch prozedurales Wissen genannt. Maturana führt für seine Definition von Wissen zunächst diese beiden Bereiche zusammen, wie folgendem Satz zu entnehmen ist: „Wissen ist das von einem Beobachter in einem von ihm bestimmten Bereich als angemessen anerkannte Verhalten.“ (Maturana, 2000, S. 284). Angemessenes Verhalten kann als „ein Bereich operationaler Kohärenz in der Lebenspraxis“ (ebd., 2000, S. 287) verstanden werden. Für Maturana (2000) wird operationale Kohärenz letztlich durch Effektivität hergestellt, die durch den Menschen beurteilt werden muss. Verhalten:

- a. muss zunächst effektiv sein (wir wollen hierunter eine fehlerfreie Zielerreichung verstehen),
- b. kann in einem zweiten Schritt effizient werden.

■ Rationale Bereiche

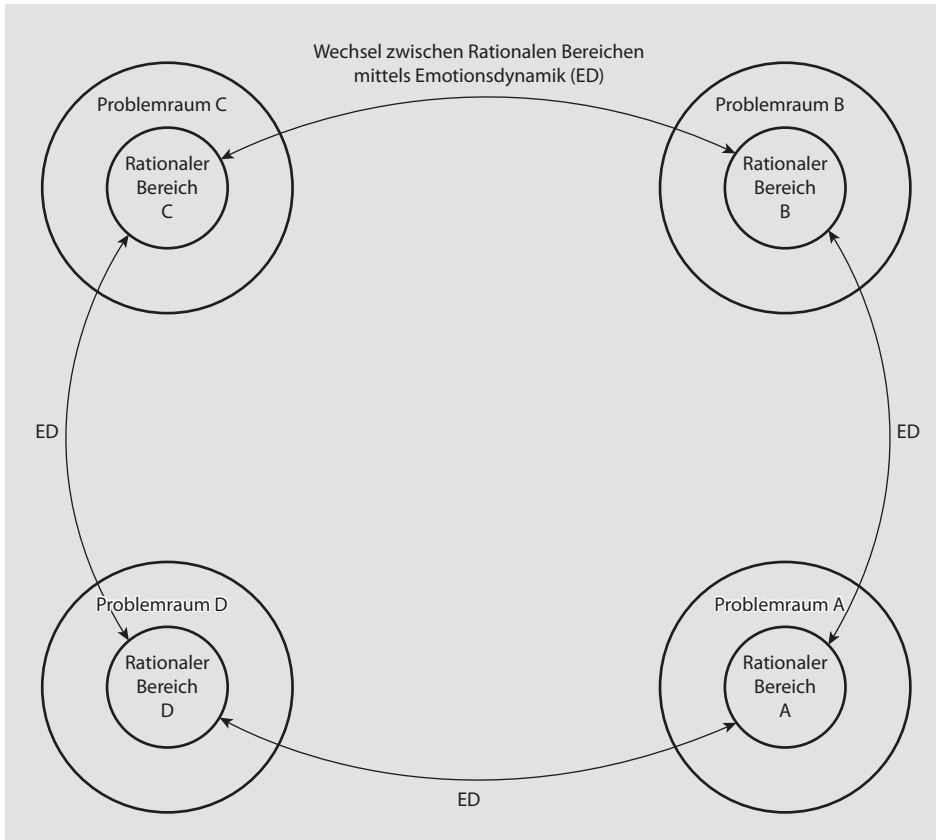
Operational kohärente Bereiche sind somit Bereiche, in denen Verhalten vorliegt, das entweder a) in Sprache stattfindet oder b) mindestens einmal in Sprache stattgefunden hat. Kognitive Bereiche sind für Maturana „rationale Bereiche“. Da nicht alle Lebensbereiche eines Menschen bereits in Sprache stattgefunden haben, muss sich der Mensch dennoch erfolgreich durch Bereiche bewegen, in denen rationale „Lücken“ vorliegen. Der Mensch muss also einen „Pfad von kohärenten Operationen“ in die Lücken bzw. Barriere legen. Maturana entwirft hierzu folgenden Gedankengang:

- » Wir können als Beobachter also ebenso viele rationale Bereiche leben, wie wir kognitive Bereiche leben. Wir bewegen uns von einem rationalen Bereich zu einem anderen gemäß unserer Emotionsdynamik und nicht aufgrund unseres Denkens. Der Wechsel des rationalen Bereichs besteht nämlich in einem Wechsel der Grundprämissen, die einen rationalen Bereich definieren, und das bedeutet auch einen Wechsel unserer Dispositionen zu handeln, d. h. unserer Emotionen. (Maturana, 2000, S. 287)

Kognitive Bereiche setzen sich somit aus Bereichen zusammen, die entweder a) von einem Beobachter zweiter Ordnung betrachtet werden oder b) nicht mehr beobachtet werden und automatisiert ablaufen. Für Maturana (2000) sind kognitive Bereiche in jedem Fall rationale Bereiche. Ein Wechsel zwischen rationalen Bereichen wird erst durch die Emotion ermöglicht. Steht der Mensch nun vor einer Barriere, so kann er versuchen, diese in einen rationalen Bereich zu überführen oder es kommt zu einem Wechsel des aktuellen rationalen Bereichs in einen anderen rationalen Bereich aufgrund von Emotionsdynamik. Dabei würde er die Barriere allerdings nicht überwinden, sondern in einen barrierefreien rationalen Bereich wechseln. Diesen Vorgang veranschaulicht ■ Abb. 4.13 noch einmal grafisch. Wie könnte allerdings die rationale Überwindung einer Barriere aussehen? Also die Transformation des Problemraums in einen Planungsraum?

■ Aufmerksamkeit

Wir haben oben lesen können, dass eine Barriere, die wir überwinden, stark von dem abhängig ist, was wir bereits wissen. Soll also die Barriere überwunden werden, die zwischen einem aktuellen Ist-Zustand und einem angestrebten Soll-Zustand liegt, so muss die Aufmerksamkeit sowohl auf die aktuellen Informationen der Situation eingehen als auch die passenden Strukturen finden,



■ **Abb. 4.13** Zu erkennen sind vier rationale Bereiche (A, B, C, D) durch die sich das Individuum planend bewegen kann. An den Randbereichen gehen die Planungsräume in den für die jeweiligen Bereiche entsprechenden *Problemräume* über. Das Individuum kann entweder mittels problemlösenden Verhaltens versuchen, die Problembereiche in *rationale Bereiche* zu überführen, oder mittels *Emotionsdynamik (ED)* zwischen rationalen Bereichen zu wechseln

die bereits angelegt sind. Insgesamt wird die Aufmerksamkeit hierbei willentlich auf bestimmte Reize gerichtet, wir bezeichnen dies als „goal-directed“. Eine unwillentliche Ausrichtung wäre als „stimulus-driven“ zu bezeichnen. Wir haben uns bereits in ► [Abschn. 4.2](#) ausführlich mit dem Konstrukt der Information auseinandergesetzt. Aufmerksamkeit scheint nun die zentrale Funktion in der Informationsverarbeitung zu übernehmen, da sie sich:

- auf den Informationsfluss zwischen Organismus und Umwelt richten kann, also zwischen struktureller und funktionaler Information,
- auch auf den Informationsfluss innerhalb des Organismus richten kann.

Aufmerksamkeit wechselt also zwischen aktiven sensomotorischen Signalen der aktuellen Situation und Repräsentationen von Signalen früherer Zeitpunkte. Cohen (1993) schreibt hierzu: „Attention acts as a gate for information flow in the brain.“ (Cohen, 1993, S. 3). Der menschliche Organismus empfängt im wachbewussten Zustand unentwegt Signale aus der Umwelt und produziert zusätzlich interne Signale, die alle durch die Aufmerksamkeit aufgegriffen werden können; es entsteht bewusste Wahrnehmung. Glasersfeld nutzt für Aufmerksamkeit die Metapher

„pulsähnliche Tätigkeit“ (Glaserfeld, 1996, S. 270). Ist die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Signal gezielt ausgerichtet, so kann dies als einzelner Puls, Aufmerksamkeitsmoment oder Merk-moment bezeichnet werden. Dieser Prozess erzeugt Aufmerksamkeitsmuster, indem ein gezielter Augenblick durch einen ungezielten Augenblick unterbrochen wird. Ein einheitlicher Gegenstand ergibt sich somit für Glaserfeld (1996) als eine ununterbrochene Abfolge gezielter Merkmomente, die am Anfang und am Ende durch ungezielte Merkmomente unterbrochen werden. Glaserfeld geht davon aus, dass Muster in ein Gedächtnis gelegt werden und wiederum zum Gegenstand der Aufmerksamkeit gemacht werden können (ebd.). Das Muster könnte demnach ein weiteres Mal gekürzt bzw. „gepackt“ werden, was eine Abstraktion bedeuten würde und es würde hierbei ein generisches Merkmuster erzeugt werden. Haben wir z. B. einmal das Aufmerksamkeitsmuster eines Apfels erzeugt, hierzu können Informationen des Geschmacks, des Geruchs, der Farbe und Form oder auch des Gewichts zählen, so wäre die Anwesenheit weiterer Äpfel auf einem Tisch als „Iteration des Aufmerksamkeitsmusters“ zu betrachten. Im Vorgang des „Packens“ der Information bzw. der Abstraktion spielt die sensorische Information (bzw. Information, die mit Informationen zu sensorischer Aktivität korreliert) keine weitere Rolle mehr. Aufmerksamkeit kann auf diese Weise auch Prozeduren zu begrifflichen Entitäten packen. Beobachten wir z. B. eine Person beim Schwimmen oder beim Laufen, so kann dieser Augenblick eine kontinuierliche Bewegung der Aufmerksamkeit erzeugen und hieraus eine begriffliche Entität erzeugt werden (ebd.). Insgesamt haben wir in diesem Abschnitt eine Dimension der Aufmerksamkeit betrachtet, die als „fokussierte“ oder „selektive Aufmerksamkeit“ bezeichnet wird. Diese bearbeitet relevante Signale, während irrelevante Signale bzw. irrelevante Stimuli ignoriert werden. Diese irrelevanten Signale sollen an dieser Stelle aber nicht als Störsignale verstanden werden. Ist eine Person zusätzlichen Störsignalen ausgesetzt, wie etwa Zeitdruck, Ermüdung oder unüblicher Lautstärke, so wäre hierzu neben der Aufmerksamkeit eine erhöhte Konzentration notwendig. Diese würde eine körperliche Anstrengung erzeugen (Westhoff & Hagemeyer, 2005), man könnte auch von konzentrierter Aufmerksamkeit sprechen. Für uns ist an dieser Stelle nur wichtig, dass die Aufmerksamkeit „strukturelle Information der Außenwelt“ zu Aufmerksamkeitsmustern verpackt, die wiederum als „strukturelle Information der Innenwelt“ verstanden werden kann.

■ Ontologisches Wissen

Die Annahme von Aufmerksamkeitsmustern führt zu einigen Problemen in der menschlichen Informationsverarbeitung, da theoretisch eine Unmenge an unterschiedlichen Merkmustern erzeugt werden könnte (Glaserfeld, 1996). Eine mögliche Antwort auf dieses Problem wollte Chomsky (1981) mit der Einführung der „strukturellen Einschränkungen“ geben. Solche Einschränkungen, entsprechend auch als „constraints“ zu bezeichnen, restringieren die Klassen logisch möglicher Wissensstrukturen (Weinert & Waldmann, 1988). Eine Möglichkeit bestünde darin, konzeptuelles Wissen von ontologischem Wissen zu unterscheiden. Während das konzeptuelle Wissen tausende an Konzepten enthalten würde, würde das ontologische Wissen die fundamentalen Unterscheidungen, die die Konzepte organisieren, umfassen. Hierzu wären z. B. Lebewesen, physikalische Objekte oder Artefakte zu rechnen. Wir haben bereits in ► Abschn. 4.2.2 thematisiert, dass bereits neurophysiologische Daten zu unterschiedlichen Arealaktivitäten bzgl. künstlicher und natürlicher Objekte vorliegen, sodass hier ein aktueller Befund diese These stärken könnte.

Mit dem Erreichen der Aufmerksamkeit haben wir nun eine Auflösungsschärfe erreicht, die uns den Prozess des Problemlösens geradezu mikroskopisch vor Augen führt. Erst durch die aufmerksame Beobachtung von Output und Input kann ein problemlösender Organismus zur Einsicht gelangen, mit der ein Problem zu lösen und in eine Aufgabe zu transformieren ist. Hierzu muss er sich über den aktuellen Ist-Zustand bewusst sein. Sämtliches Vorwissen des

Problemlösers kann in diesen Prozess einfließen. Wir wollen damit nicht ausschließen, dass eine erste Lösung des Problems, wie etwa die Lösung des Neun-Punkte-Problems, nicht auch durch einen ersten „Aha-Effekt“ gelöst wird und nahezu frei von bewusst angewandtem Vorwissen oder aufmerksamen Lösungsprozessen anzusehen wäre. Allerdings muss die erste Lösung anschließend aufmerksam durchgeführt werden, damit die Lösung zu einem späteren Zeitpunkt mithilfe des Gedächtnisses stattfinden kann und die Person nicht erst wieder auf den Aha-Moment warten muss. Erst die Reproduzierbarkeit des Lösungsweges verwandelt das Neun-Punkte-Problem in eine Neun-Punkte-Aufgabe. Zu Beginn des Kapitels ist uns die Situationstheorie begegnet. Diese verhilft uns, den Gesamttrahmen, in dem sich ein problemlösendes Individuum befindet, zu betrachten. Die unmittelbarste Stelle, an der sich ein Problemraum allmählich in einen Planungsraum verwandelt, wollen wir nicht als Situation bezeichnen, sondern als in eine Situation eingebettete „Episode“.

4.3.1 Die Selektion als Transformation

Wir haben bereits in ► [Abschn. 4.1.1](#) das Konstrukt der Situation kennengelernt. Ein Individuum befindet sich immer in einer Situation; wir wollen diese an späterer Stelle als „Zeichen-Situation“ bezeichnen. Eine Situation ist bestimmt durch eine aktuelle Realität (► [Abschn. 4.2.2](#)) außerhalb des Individuums (► [Abschn. 4.2.2](#)) und der Historizität des Organismus (► [Abschn. 4.2.3](#)). Lassen wir den Gedanken zu, dass sich außerhalb des Individuums Information befindet, der radikale Konstruktivismus würde hier von einer Störung sprechen, so ist diese Information nach Barwise u. Perry (1983) in ihrer Menge als nahezu unendlich zu betrachten. Erst das Individuum abstrahiert durch eine aktive Verarbeitung aus der potenziellen Umgebungsinformation eine abstrakte Situation. Dies vollzieht sich bereits durch den Beobachter erster Ordnung und ist noch nicht an eine bewusstseinspflichtige Beobachtung gekoppelt. Betrachten wir z. B. die visuelle Informationsverarbeitung, so wird die durch Lichtwellen den Organismus erreichende Information bereits mithilfe seines Vorwissens interpretiert. Diese erste Interpretation ist allerdings noch nicht als bewusste Informationsverarbeitung zu verstehen. Sie bezieht sich vielmehr auf die Fähigkeit des Sehsystems, dreidimensionale Gegenstände aus Lichtwellen zu erzeugen. Hierzu muss der Organismus in seinen ersten Lebensjahren eine Menge an Lernerfahrungen sammeln und das entsprechende Wissen konstruieren, wie Lichtwellen als Objekte zu interpretieren sind.

Erst die weitere Abstraktion der Situation wollen wir als bewusst erlebte Situation verstehen, die mit der Weite des Bewusstseins bzw. mit der Gegenwartsdauer (► [Abschn. 4.2.1](#)) korrespondiert. Die Bezeichnung abstrakt bedeutet also die Reduzierung einer unendlichen Menge an potenzieller Information zu einer ersten Menge wahrnehmbarer Information, den sog. Perzepten (Hussy, 1984), die anschließend durch einen Beobachter zweiter Ordnung bewusst wahrgenommen werden. Verarbeitet dieser Beobachter zweiter Ordnung die Information bewusst, so nutzen wir hierzu das Modell zum AG nach Baddeley, dessen Substrukturen uns in ► [Kap. 3](#) begegnet sind. Bislang ist die wesentliche Unterscheidung zwischen phonologischer und räumlich-visueller Informationsverarbeitung deutlich hervorgetreten. An dieser Stelle soll nun die neue Komponente des episodischen Buffers in den Mittelpunkt gesetzt werden. Der Autor der Arbeit schreibt dem episodischen Buffer als Schnittstelle zwischen AG und LZG die zentrale Funktion zu, Aufmerksamkeitsmuster zu erzeugen, die unabhängig von der vorherigen Modulation der Information in ihren eigenen Dimensionen Muster erzeugt, so wie es die Kybernetik zweiter Ordnung in ihrem Modell zum kognitiven Mosaik darstellt. An dieser Stelle werden die Bausteine des Wissens aktiv konstruiert. Bei Logie u. Della Sala (2005) findet sich über den räumlich-visuellen Notizblock aus dieser Perspektive folgender Absatz:

- » However, a large body of evidence now points to the contents of working memory being interpreted rather than raw sensory images. This suggests that perceptual input activates prior knowledge and experiences in long-term memory, and it is the product of that activation which is held and manipulated within working memory ... In other words, working memory cannot be considered a gateway between perceptual input and long-term memory, but more as a system for representing interpreted objects and scenes, allowing us to interact with and mentally manipulate those objects. (Logie & Della Sala, 2005, S. 95)

4

Die von den Autoren angesprochene Interaktion und Manipulation dieser Objekte ist eine wichtige Funktion, die nach Ansicht des Autors unter Berücksichtigung der bisher vorgestellten Modelle nicht mehr ausschließlich in den eigentlichen Subsystemen vollzogen werden kann. Logie u. Della Sala (2005) beschreiben hierzu folgendes Beispiel:

- » So, for example, if you now close your eyes and consider the objects that are in your immediate environment, those objects are identified – as a telephone, a cup, a calculator, a globe, a paperweight, a crystal clock, they are not raw sensory images comprising shades of color, contrast, texture, edges and contours. It is possible to manipulate these objects in your representation – imagine the cup containing the clock, the globe spinning, the telephone light flashing ominously ... We can perform the same mental operations on the contents of representation retrieved from our knowledge base of past experience. We can represent mentally objects that are behind us in the immediate, familiar environment of an office, even if they have not been viewed recently. (Logie & Della Sala, 2005, S. 95)

Das Beispiel führt uns die wesentlichen Aspekte der bewussten Informationsverarbeitung im AG vor Augen. Das sensorische Material ist im visuellen AG nicht mehr in der eigentlichen Schärfe vorhanden. Sollte eine nahezu sensorische Schärfe vorhanden sein, so müssten die Objekte mithilfe der Aufmerksamkeit geradezu nachgezeichnet werden. Der Autor der Arbeit geht davon aus, dass sich dieses „Nachzeichnen“ der Objekte im Zusammenspiel zwischen zentraler Exekutive und episodischem Buffer vollzieht. Die von Logie u. Della Sala (2005) genannten Funktionen der Interaktion und Manipulation von Objekten im visuellen AG kann sich nur vollziehen, wenn Code bewusst verarbeitet wird. Entweder wird vorhandener Code genutzt oder es wird ein neuer Code generiert. Logie u. Della Sala (2005) stellen zudem das Zusammenspiel von visueller Information und sprachlicher Instruktion dar. Das Beispiel „imagine ... the globe spinning“ (Logie & Della Sala, 2005, S. 95) verdeutlicht, dass die visuelle Repräsentation des Globus durch das Wort „spinning“, das zunächst über den Imperativ über den akustischen Kanal in die phonologische Schleife aufgenommen wird, in eine dynamische Repräsentation des Globus transformiert wird. Hierzu ist zum einen die semantische Bedeutung des Wortes spinning notwendig, zum anderen muss der Organismus zumindest einmal in seiner Historizität einem drehenden Objekt begegnet sein, um diese Erfahrung auf das Objekt Globus transformieren zu können. Im Unterschied hierzu würde ein Imperativ wie „Stelle Dir eine vierte Grundfarbe vor“, also eine neue Farbe, die keiner Mischung der bislang bekannten Farbdimensionen entspräche, zu keiner Repräsentation im visuellen AG führen können, auch wenn die Person genau weiß, was sie sich unter einer solchen neuen und fremden Farbe vorzustellen hätte. Die Erfahrung durch die Realität stellt also zunächst eine notwendige Bedingung dar. Die von den Autoren, Logie u. Della Sala, verlangten Interaktionen und Manipulationen vollziehen sich nach Meinung des Autors in einem eigenen System, das einen eigenen Code aufweist und einen neuen Code generieren kann. Das Aufrufen von Repräsentationen vollzieht sich erst in einem letzten Schritt, der einzig über Referenzen, einen Index, arbeitet. Das Kodiersystem kann als episodischer Buffer bezeichnet werden, der

Code bildet sich hier in den Aufmerksamkeitsmustern ab. Aufmerksamkeit muss wesentliche von unwesentlichen Informationen trennen, hierdurch entstehen individuelle Muster, die wir als Aufmerksamkeitsmuster bezeichnen können. Diese wiederum können aufgrund des eigenen Codes als Grammatik verstanden werden oder als „subjektive Sprache“ (Putz-Osterloh et al., 1988), wie es uns schon zu Beginn des ► Abschn. 4.3 bei Putz-Osterloh et al. (1988) begegnet ist.

Grammatik Einige wesentliche Funktionen von Grammatik wurden bereits 1956 von Benjamin Lee Whorf herausgestellt. Whorf (2008) ist ebenfalls von einer nahezu unendlichen Fülle von Informationen außerhalb des Individuums ausgegangen:

- » Die Kategorien und Typen, die wir aus der phänomenalen Welt herausheben, finden wir nicht einfach in ihr – etwa weil sie jedem Beobachter in die Augen springen; ganz im Gegenteil präsentiert sich die Welt in einem kaleidoskopartigen Strom von Eindrücken, der durch unseren Geist organisiert werden muß – das aber heißt weitgehend: von dem linguistischen System in unserem Geist. Wie wir die Natur aufgliedern, sie in Begriffe organisieren und ihnen Bedeutungen zuschreiben, das ist weitgehend davon bestimmt, daß wir an einem Abkommen beteiligt sind, sie in dieser Weise zu organisieren – einem Abkommen, das für unsere ganze Sprachgemeinschaft gilt und in den Strukturen unserer Sprache kodifiziert ist. Dieses Übereinkommen ist natürlich nur ein implizites und unausgesprochenes, aber sein Inhalt ist absolut obligatorisch; wir können überhaupt nicht sprechen, ohne uns der Ordnung und Klassifikation des Gegebenen zu unterwerfen, die dieses Übereinkommen vorschreibt. ... Wir gelangen daher zu einem neuen Relativitätsprinzip, das besagt, daß nicht alle Beobachter durch die gleichen physikalischen Sachverhalte zu einem gleichen Weltbild geführt werden, es sei denn, ihre linguistischen Hintergründe sind ähnlich oder können in irgendeiner Weise auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden (be calibrated). (Whorf, 2008, S. 12)

Whorf versteht das von ihm benannte linguistische System als „Systeme der Rationalisierung“ (Whorf, 2008, S. 17). Die potenzielle Information wird durch diese Systeme der Rationalisierung gefiltert. Hierzu führt er kulturvergleichend die Hopi-Sprache an, die die Eigenschaft aufweist, dass diese Sprache keine Objekte von kurzer Dauer bezeichnet, so gibt es kein Wort für Wellen, Wolken oder Sturm. Diese werden nicht als Objekte verarbeitet, sondern nur durch Verben gekennzeichnet. Auch wenn wir diesen Aspekt an dieser Stelle nicht weiter vertiefen werden, so ist das Kernanliegen, zu erkennen, dass Denken und Bewusstsein durch die rationalen, linguistischen Systeme beeinflusst werden. Diese Systeme unterscheiden sich durch die automatischen, unwillkürlichen Strukturschemata der Sprache, was Whorf als Grammatik in einem sehr weiten Sinne versteht. Hierzu führt er später aus:

- » Das Warum des Verstehens mag noch geraume Zeit ein Geheimnis bleiben, aber das Wie, die Logik des Verstehens – der Hintergrund von Gesetzen oder regelmäßigen Zusammenhängen –, ist erforschbar. Es handelt sich um den grammatischen Hintergrund unserer Muttersprache, der nicht nur die Art und Weise einschließt, in der wir unsere Sätze konstruieren. In ihm liegt auch, wie wir die Natur und den Fluß der Erfahrung in diejenigen Gegenstände und Einheiten aufgliedern, über die wir mit den von uns konstruierten Sätzen Aussagen machen. (Whorf, 2008, S. 38)

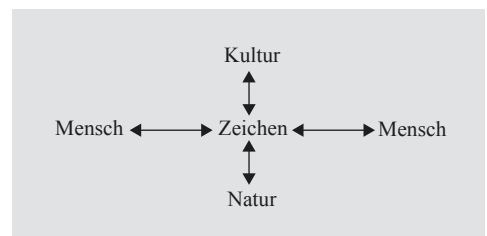
Somit kann Grammatik als ein Muster verstanden werden, das durch Sprache beeinflusst ist und alle tieferliegenden Bewusstseinsprozesse vereinen kann. Jede Sprache ist für Whorf (s. oben) ein

riesiges Struktursystem, in dem die Formen und Kategorien durch die Kultur vorbestimmt sind. Durch diese Struktursysteme teilen sich die Mitglieder ihrer Gesellschaft nicht nur mit. Jedes Individuum gliedert über dieses System die Natur auf und bemerkt oder übersieht aufgrund dessen dabei Phänomene und Zusammenhänge. So können auch Blickbewegungen, mit denen wir den Raum gewissermaßen lesen, als Grammatik des Sehens betrachtet werden. Auch systematisches Fühlen und Abtasten von Objekten folgen demnach einer Grammatik des Fühlens. Eine solche Perspektive wird durch das Konzept der „construction grammar“ (Itti & Arbib, 2006, S. 333) weiter verfolgt. Während eine generative Grammatik noch von einer komplexen Verschachtelung mit eigenen Regeln der drei Ebenen phonologisch, syntaktisch und semantisch ausgeht, die erst in ihrem komplexen Zusammenwirken eine Grammatik erzeugen, geht die konstruktive Grammatik von einem einheitlichen Regelsystem aller Grammatiken aus. Hierdurch lässt sich die Grammatik einfacher auf die bereits erwähnte subjektive Sprache übertragen und somit ein sehr weites Verständnis von Sprache erzeugen. Der Grammatik kommt daher eine generelle Schlüsselrolle in der Erzeugung des Bewusstseins zu. Das Nachdenken wird kanalisiert und das „Gehäuse des Bewusstseins“ (Whorf, 2008, S. 53) im Struktursystem der subjektiven Sprache erbaut. Hierzu lesen wir bei Whorf weiter: „Jede Sprache vollzieht dieses künstliche Zerschneiden der kontinuierlich ausgebreiteten und fließenden Wirklichkeit in einer anderen Weise.“ (Whorf, 2008, S. 54) Das Herauslesen der wesentlichen Informationen aus dem unendlichen Informationspotenzial vollzieht sich somit bei ihm durch die kulturell geprägte Sprache. Diese Sprache umschreibt er wie folgt:

» Daher sind die Bedeutungen der einzelnen Wörter weniger wichtig, als wir uns gern einbilden. Sätze, nicht Wörter sind das Wesen der Sprache, geradeso wie Gleichungen und Funktionen, nicht bloße Zahlen der eigentliche Gehalt der Mathematik sind. Wir alle irren uns in unserem gemeinsamen Glauben, irgendein Wort habe eine genaue Bedeutung. Wie [sic.] wir gesehen haben, befaßt sich der höhere Geist mit Symbolen, die keine feste semantische Beziehung (reference) zu irgendetwas haben. ... Daß ein Wort tatsächlich eine genaue Bedeutung hat, für ein gegebenes Ding steht, ist lediglich ein Wert einer Variablen. ... Der in den Wörtern liegende Teil der Bedeutung (meaning), den wir semantische oder gegenständliche Bedeutung (reference) nennen können, ist nur relativ fixiert. Die gegenständliche Bedeutung der Wörter hängt von den Sätzen und grammatischen Strukturschemata ab, in denen sie vorkommen. (Whorf, 2008, S. 60f.: Ergänzung des Autors)

Insgesamt zeigt sich mithilfe dieser Gedanken sehr schön, dass die eigentliche Anbindung an die konkret erfahrene Außenwelt durch die Sprache mittels Referenzen immer nur berührt wird, sich die Sprache als Struktursystem anhand ihres eigenen Systems entwickelt und realitätserzeugend auf das Individuum in seiner Gemeinschaft wirkt. Whorf (2008) versteht den Menschen als ein dynamisch stabiles Zeichensystem. Jede Situation ist für den Menschen eine „Zeichen-Situation“ (Whorf, 2008, S. 145). Zeichen und Zeichensysteme sind für ihn die unabdingbare Vermittlung zwischen den Systemen Mensch-Natur-Kultur-Mensch, was er in ■ Abb. 4.14 ausdrückt.

■ **Abb. 4.14** Die Abbildung zeigt die zentrale Stellung des Zeichens als Schnittstelle zwischen Mensch, Menschen, Natur und Kultur



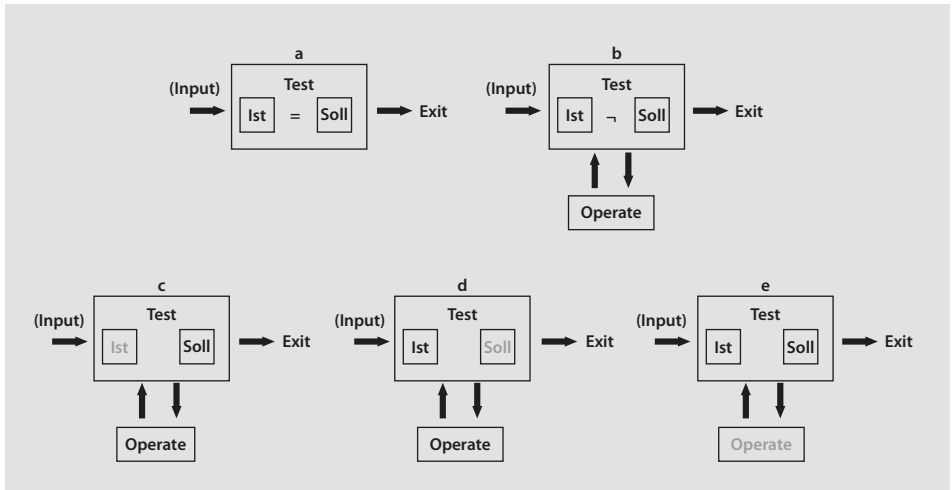
Mithilfe von Whorf (2008) schließt sich nun der Kreis zum Imperativ von Spencer-Brown. Erst durch die Unterscheidung entsteht nach Spencer-Brown die Form, die durch markierten und unmarkierten Raum existiert. Doch wie entsteht die Unterscheidung? Hierzu bietet uns Whorf folgende Passage an:

- » Der bekannte Ausspruch, die Ausnahme bestätigt die Regel, enthält ein gutes Teil Weisheit. ... Das alte Wort hat, seit es seinem Platz in der Logik verlor, einen tiefen psychologischen Sinn. Was es uns heute sagen kann, ist, daß eine Regel mit absolut keiner Ausnahme nicht als Regel, ja, überhaupt nicht erkennbar wird, weil sie dann Teil eines Hintergrundes unserer Erfahrung bleibt, dessen wir uns selten bewußt werden. Da wir niemals etwas erfahren haben, das in Gegensatz zu ihr steht, können wir sie nicht abheben und als Regel formulieren – jedenfalls nicht eher, als bis wir unsere Erfahrung und die Basis unserer Vergleichsmöglichkeiten so erweitert haben, daß wir einer Störung der Regelmäßigkeit begegnen. ... Das Gesetz der Schwerkraft beherrscht unser Leben als eine Regel ohne Ausnahme, und es bedarf eigentlich keiner besonderen Feststellung, daß ein physikalisch völlig unvorgebildeter Mensch von dieser Tatsache keinerlei Bewußtsein hat. (Whorf, 2008, S. 8f.)

Bevor also überhaupt eine Unterscheidung und somit eine Form entstanden ist, können wir alles als Hintergrund bezeichnen. Erst durch eine Störung dieses Hintergrundes entsteht eine Form. Eine Form markiert somit eine Regel, die erst aufgrund einer Störung als Regel erkennbar geworden ist. Es scheint, als sei die Störung der wichtigste Ausgangspunkt von allem zu sein, mit unseren Worten, das Problem. Eine Störung ist somit immer eine Differenzierung und somit eine potenzielle Markierung. Grammatiken sind dem Menschen daher nicht nur behilflich, mit anderen Menschen zu kommunizieren, sondern sie dienen ebenfalls der Interaktion mit seiner Umwelt. Die bewusste Beobachtung seiner Umwelt scheint einer Grammatik der Beobachtung zu folgen (Itti & Arbib, 2006, S. 338). Diesem Gedanken wollen wir an dieser Stelle weiter nachgehen, da er entscheidend für den Prozess des Problemlösens zu sein scheint. Denn wir wollen unterscheiden, ob die Beobachtung einer Grammatik folgt oder die Grammatik aus der Beobachtung entsteht.

■ Antizipation

Wir haben bereits in ► [Kap. 2](#) den Begriff des Algorithmus kennengelernt, der in gewisser Weise mit dem Begriff der Grammatik insofern verwandt ist, als dass derselbe Algorithmus durch unterschiedliche Grammatiken entstehen kann. Ein Algorithmus ist für uns ein regelgeleitetes Vorgehen. Er ist demnach sehr mit dem Begriff des Schemas verwandt. Wenn wir von regelgeleitetem Vorgehen sprechen, dann erkennen wir im „regelgeleitet“ wieder, dass Störungen markiert worden sind und zu Regeln geführt haben, die nun die Leitung übernehmen. Im „Vorgehen“ zeigt sich, dass der über einen Algorithmus oder Schema verfügende Organismus in die Zukunft hinein handeln kann, er hat gewissermaßen einen Plan für den nächsten Schritt. Dies wollen wir als Antizipation bezeichnen. Das Zukünftige wird durch das Schema vorweggenommen, wird als Ziel repräsentiert und angestrebt. Durch das Schema gibt es im Organismus eine Struktur, die ihm Ziele vorgibt, die er mit Sicherheit durch sein Verhalten erreichen kann. Es entsteht eine sog. TOTE-Einheit, eine Struktur, die einen Zielzustand kennt und in einer Schleife prüft, ob dieses Ziel bereits erreicht ist. Diese Einheit ist uns bereits in ► [Abschn. 3.1](#) begegnet. Ist ein Ziel erreicht, so sind Ist- und Soll-Zustand gleich, die aktuelle Prüfschleife wird verlassen und es wird in eine andere Schleife gewechselt (s. Abb. 7a). Ist das Ziel noch nicht erreicht, muss die passende Operation aufgerufen werden, die Ist- und Soll-Zustand angleicht. Hieraus kann



■ **Abb. 4.15** Die Grafiken **a** und **b** veranschaulichen die klassische TOTE-Einheit nach 2003:74:cf79:fb69:d9b8:c b84:a15:9376, Galanter & Pribram (1960). Die anderen Zustände (**c**, **d**, **e**) stellen bestimmte Problemzustände dar. Die TOTE-Einheit reicht zur Darstellung von Planungsprozessen (**a**, **b**) aus, alle Prozesse des Problemlösens kann sie nicht mehr abbilden, sondern nur deren Planungsteil

theoretisch eine sehr lange und verschachtelte Schleife erwachsen, in gewisser Weise sähe die Schleife so aus, wie sie Bischof darstellt, als eine „TOTOTO ... TOTE“-Einheit (Bischof, 1995, S. 93). Wir dürfen den Algorithmus und das Schema daher auch als Planstruktur bezeichnen. Der Organismus verfügt hiermit über einen inneren Plan, wie er mit seiner Umwelt im nächsten Schritt interagieren kann (■ [Abb. 4.15a](#)).

■ Ist-Zustand

Verfügt der Organismus nicht über einen Plan, so ist seine Situation als Problemsituation zu bezeichnen. Es kann nicht mehr antizipiert werden, da der innere Handlungsplan fehlt. Da der nächste Schritt nicht vorweggenommen werden kann, wird die Informationsverarbeitung des Organismus von der Umwelt abhängig. Diese Umwelt wollen wir weiterhin als Medium bezeichnen, in dem sich der Organismus befindet. Wir wollen daher die These nach Whorferweitern und sagen, dass sich ein Mensch nicht immer in einer Zeichensituation befindet, sondern auch eine Nicht-Zeichensituation vorliegen kann, die für uns die Problemsituation darstellt. Das Problem, das sich zunächst durch Intransparenz auszeichnet, kann sich auf den Soll-Zustand oder auf die Operation beziehen. Verfügt der Organismus über eine Zielstruktur, hat er aber noch keine geeigneten Operatoren ausgebildet, um das Ziel zu erreichen, so entspricht dies der Synthesebarriere; die notwendigen Operatoren sind noch intransparent. Dieser Fall ist in ■ [Abb. 4.15e](#) abgebildet. Liegen dem Organismus genügend Operationen vor, aber hat er keine eindeutige Zielstruktur (Soll) repräsentiert, so liegt hier neben der Intransparenz des Ziels auch gleichzeitig die Polytelie (► [Abschn. 4.1.3](#)) vor, da der Organismus eine Menge an Zielzuständen konstruieren kann. Wir sprechen dann von der dialektischen Barriere, die in ■ [Abb. 4.15d](#) dargestellt wird. Die TOTE-Einheit selbst stellt für das Lösen von Aufgaben und Interpolationsbarrieren ein funktionierendes Modell dar (■ [Abb. 4.15a, b](#)). Betrachten wir die TOTE-Einheit unter den Aspekten der dialektischen Barriere (■ [Abb. 4.15d](#)) und der Synthesebarriere (■ [Abb. 4.15e](#)), so kann sie ihre Aufgaben nicht mehr übernehmen. Es müssen nun Operationen aufgerufen werden, die wir als Heuristik

bezeichnen und anschließend thematisiert werden. Es gibt einen Zustand, der für das bewusste Verarbeiten von Informationen ausgeschlossen werden muss, die Intransparenz des Ist-Zustandes (■ [Abb. 4.15c](#)). Bewusste Informationsverarbeitung bedeutet in jeder Situation ein transparentes Bild des Ist-Zustandes. Wir stellen fest, dass Transparenz für uns immer etwas Rationales darstellt, auf dem operiert werden kann. Intransparenz bedeutet daher immer etwas Irrationales. Dieses Irrationale kann nicht mehr unter Verwendung von Algorithmen bearbeitet werden. Der intransparente Raum muss mithilfe von Schätzverfahren, den Heuristiken, in einen transparenten Raum überführt werden. Es tritt das problemlösende Denken auf den Plan, das zunächst als ein Suchprozess zu bezeichnen ist, der vom Ist-Zustand aus startet.

■ Problemlösendes Denken

Die wohl deutlichste Definition von problemlösendem Denken geht auf Herbert A. Simon (1962) zurück:

- » ... human problem solving, from the most blundering to the most insightful, involves nothing more than varying mixtures of trial and error and selectivity. The selectivity derives from various rules of thumb, or heuristics, that suggest which paths should be tried first and which leads are promising. (Simon, 1962, S. 472f.)

Simon legte dem problemlösenden Denken, egal ob es von aller einfachster Natur oder von höchster Einsicht zeugt, zwei elementare Prozesse zugrunde: das einfache Versuch-und-Irrtum-Verhalten und die Selektivität. Somit kann das reine Trial-and-Error-Verhalten als die grundlegendste Heuristik betrachtet werden. Der Begriff der Heuristik ist uns bereits im Zusammenhang mit der heuristischen Struktur in ► [Abschn. 3.3.1](#) begegnet. Die Heuristik bzw. der Heurismus hängt unmittelbar mit dem problemlösenden Denken zusammen, da diese Form des Denkens auf Methoden der Unschärfe zurückgreifen muss und erst Schärfe und somit Information generiert. Eine Heuristik ist demnach ein Verfahren, mit dem ein Problem gelöst werden kann. Diese Lösung ist allerdings nicht garantiert (Dörner, 1979; Hussy, 1984). Löst ein heuristisches Verfahren ein Problem, so findet eine Transformation des Problems in eine Aufgabe statt und es entsteht anschließend ein Algorithmus.

■ Trial and Error

Die Heuristik des Trial and Errors bzw. Versuch-und-Irrtum-Verhaltens (VI-Verhalten) ist die grundlegendste Heuristik, aber bereits diese Heuristik lässt sich in unterschiedliche Stufen einteilen, wobei die unterste Stufe durch „stochastisches VI-Verhalten“ (Dörner, 1979, S. 72) gekennzeichnet ist. Ein solches Verhalten überlässt sowohl die Wahl eines Startpunktes, was wir als „Lokalisation“ bezeichnen wollen, als auch die Wahl des ersten zu testenden Operators dem Zufall. Da dieses Verhalten rein stochastisch vorgeht, ist es nicht auszuschließen, dass der Startpunkt und die Operatoren mehrfach wiederholt genutzt werden, auch wenn sie sich nicht als funktionierend herausgestellt haben. Ein solches Verhalten funktioniert gewissermaßen ohne ein Arbeitsgedächtnis (Dörner, 1979). Ein systematisches VI-Verhalten hingegen probiert jeden Operator nur einmal an jedem der möglichen Startpunkte (Wickelgren, 1977; Dörner, 1979). Für dieses VI-Verhalten muss ein Organismus auf eine Gedächtnisstruktur zurückgreifen, um somit verwendete Startpunkte und verwendete Operatoren von noch nicht verwendeten Startpunkten und Operatoren zu unterscheiden. Der Organismus beobachtet also hierbei seine Aktivitäten und wertet diese aus, auch wenn das Vorgehen dennoch ein reines VI-Verhalten darstellt. Diese Auswahl ist die bereits von Simon (1962) benannte erste Form von Selektivität.

■ Selektivität

Wir wollen zunächst kurz klären, was unter Selektion bzw. Selektivität verstanden werden kann, bevor wir uns ihren zwei Formen zuwenden. Bei Maturana finden wir hierzu folgende Beschreibung von Selektion:

- » Auch wenn jede Selektion, ob durch Evolution oder durch Ontogenese, zur Koppelung von Strukturen führt (denn das, was selektiert wird, ist immer eine Struktur), ist Selektion stets die Folge der operationalen Auseinandersetzung eines zusammengesetzten Systems in dem Medium, in dem es als einfache Einheit vermittle der Eigenschaften seiner Bestandteile interagiert. (Maturana, 2000, S. 111)

Selektion produziert demnach strukturelle Koppelung. Wir erinnern uns, dass wir das Medium als lose Koppelung verstanden haben. Vorbedingung der Selektion ist nach Maturana die operationale Auseinandersetzung des Systems, das er als Einheit versteht, mit dem Medium. Simon (1962) geht von zwei Formen der Selektivität aus. Die erste Form der Selektivität ist bereits mit dem systematischen VI-Verhalten aufzuzeigen. Ein Organismus probiert einen Operator aus und erhält ein Feedback. Bei negativem Feedback kann der Operator ausgeschlossen werden, der Organismus selektiert den Operator, sodass dieser nicht noch einmal verwendet wird (Simon, 1962). Auf diese Art kann der Organismus eine Reihe von brauchbaren Operatoren durch Feedback entdecken. Der weitere Suchprozess wird dadurch bestimmt, dass das Feedback der Umgebung vom Organismus ausgewertet und längerfristig gespeichert wird – es entsteht ein selektives Verhalten. Die erste Quelle der Selektivität bestimmt sich somit aus den

1. Informationen aus der Umwelt bzw. aus dem Medium. Simon bezeichnet diese Information als „information about stable configurations“ (Simon, 1962, S. 437).
2. Die zweite Quelle der Selektivität ist für Simon die vorherige Erfahrung und somit das Vorwissen. Wenn ein Organismus über genügend Vorwissen verfügt, kann ein Problem mithilfe des Wissens über die Lösung eines ähnlichen Problems, wir würden dies als „Transfer“ bezeichnen, gelöst werden. Ist ein solcher Prozess erfolgreich, so wäre während des Problemlösens kein Trial-and-Error-Verhalten mehr notwendig.

Problemlösen bewegt sich somit immer zwischen dem Vorwissen eines Organismus und seinem unmittelbaren VI-Verhalten in der aktuellen Umgebung. Diese Prozesse vollziehen sich mittels der Aufmerksamkeit. Wir dürfen daher die Verwendung des Vorwissens auch als „Schema-Leitung der Aufmerksamkeit“ verstehen, wohingegen die Auswertung des Feedbacks der Umgebung als „Medium-Leitung der Aufmerksamkeit“ zu bezeichnen ist (Sweller, Merrienboer & Paas, 1998). Wichtig ist für uns, dass wir diesen Wechsel zwischen Schema-Leitung und Medium-Leitung als einen Punkt verstehen, der die zentrale Schnittstelle zwischen Planungsraum und Problemraum kennzeichnet. Dies findet sich ebenso bei Raaheim (1988):

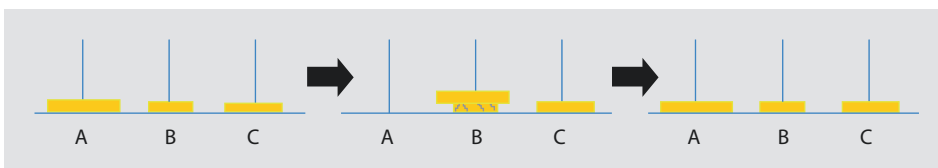
- » ... that the person will recognize this state of affairs and, consequently, stop his or her attempts at using past experience in an insightful manner, now to concentrate on a more active exploration of the present instead.“ (Raaheim, 1988, S. 80)

Wird die Aufmerksamkeit des Organismus nicht durch ein Schema, also das Vorwissen, gelenkt, sondern durch das Medium geleitet bzw. gesteuert, entstehen neue Strukturen bzw. strukturelle Koppelungen. Es wird ein neues Schema erworben und das Problem wird auf einer ersten Ebene transformiert, indem das Medium gelesen bzw. eingelesen wird. Es entsteht ein inneres Modell der Umgebung. Der Organismus passt sich seinem Medium an. Diesen Prozess drückt Maturana wie folgt aus:

- » Wenn die Organisation eines Systems homöostatisch invariant gehalten wird, wie dies bei autopoietischen Systemen der Fall ist, dann ist Anpassung die homöostatische, durch Verhalten (d. h. durch das Operieren des autopoietischen Systems in seinem Medium) bewirkte Verklammerung der strukturellen Koppelungen eines Systems (Ontogenese) oder einer Reihe von Systemen (Evolution) mit ihrem jeweiligen statischen oder sich wandelnden Medium. (Maturana, 2000, S. 112)

Wir schreiben der zentralen Exekutive (ZE) die Fähigkeit zur Unterscheidung zu, ob die Aufmerksamkeit durch ein Medium oder ein Schema gesteuert wird. Die ZE ist somit die zentrale Instanz bzgl. der Selektivität. Solange die Aufmerksamkeitssteuerung dem Schema obliegt, befindet sich das Individuum in einem rationalen Bereich, wie es bereits Maturana (► Abschn. 4.3) bezeichnet hat. Erst wenn das vorhandene Schema nicht mehr ausreicht, muss sich die Aufmerksamkeit vom Schema ab- und dem Medium zuwenden. Der Wechsel zum Medium vollzieht sich nach Maturana durch die Emotionsdynamik. Problemlösen ist aus dieser Perspektive immer mit Emotionen verbunden (Stäudel, 1987). Hierzu führte Hussy (1984) die evaluative Struktur neben der heuristischen und der epistemischen Struktur (Dörner, 1979) ein. Diese Gedanken werden wir im folgenden Abschnitt vertiefen. Vorerst betrachten wir ein Beispiel zur Konkretisierung der bisherigen Gedanken.

Wir haben bereits an einigen Stellen das Paradigma des Turms von Hanoi (ToH) kennengelernt (► Abschn. 2.2). Wir stellen uns nun drei Versuchspersonen vor, die in getrennten Räumen den ToH als Computerversion mit drei Scheiben bearbeiten (■ Abb. 4.16). Die Besonderheit an dieser Untersuchung ist, dass wir das Paradigma um eine Eigenschaft komplexer Probleme erweitern, die Intransparenz. Daraus folgt, dass das Regelwerk nicht instruiert wird, sondern die Personen ohne Instruktion vor dem Szenario sitzen. Das Paradigma ist allerdings nun so aufbereitet, dass es ein Feedback geben kann. Das Feedback gestaltet sich in der Form, dass sobald ein größerer Stein auf einen kleineren Stein gelegt wird, der kleinere Stein zerspringt und der Computer den vorherigen Zustand herstellt. Versuchsperson A hat Glück, sie kennt das Paradigma und seine Regeln. Sie ist vor einigen Jahren in das Regelwerk mündlich eingeführt, also instruiert, worden. Sie hat das Problem schon damals einmal erfolgreich gelöst und kann sich einigermaßen gut erinnern. Sie überlegt beim ersten Zug etwas genauer und löst das Problem, das für sie letztlich eine Aufgabe darstellt, in wenigen Sekunden fehlerfrei. Sobald der Zielzustand erreicht ist und der Turm seinen Standort gewechselt hat, gibt der Computer ein positives Feedback. Versuchsperson B kennt das Paradigma nicht, aber verhält sich zufälligerweise ebenso wie Versuchsperson A und erreicht ebenfalls nach sieben Zügen einen Zustand, dem ein positives Feedback zum Abschied folgt. Der Versuchsperson C ist das Paradigma wie der Versuchsperson B unbekannt. Sie legt die kleine Scheibe auf die mittlere Stange, anschließend legt sie die größere Scheibe ebenfalls auf die mittlere Stange, woraufhin die untere Scheibe zerspringt. Der Computer stellt den vorherigen Zustand wieder her. Die Person wundert sich zunächst über die Reaktion des Systems und fragt sich, ob die Scheiben nicht übereinanderliegen dürfen, revidiert aber diesen Gedanken, da sie ja zumindest den Ausgangszustand kennt, bei dem die Scheiben zur Pyramide gestapelt sind. Die



■ Abb. 4.16 Der Turm von Hanoi als Explorationsparadigma. Wird eine größere Scheibe auf eine kleinere gelegt, so zerfällt diese und der Computer stellt automatisch den vorherigen Zustand wieder her

Person denkt allerdings, dass nur die kleine Scheibe empfindlich sei und wiederholt den Fehler in einer späteren Situation noch einmal mit den beiden größeren Scheiben. Erst darauf ist ihr die Generalität der Regel klar, dass die größeren Scheiben nicht über den kleineren Scheiben liegen dürfen. Nachdem sie nun die Pyramide auf die mittlere Stange gebaut hat, passiert nichts und der Versuchsperson wird langsam langweilig. Sie entscheidet sich, die Pyramide noch einmal umzubauen und auf die rechte Stange zu legen. Anschließend erhält sie das gleiche positive Feedback wie die Personen A und B. In einem zweiten Durchgang mit vier Scheiben, gehen die Versuchspersonen A und C gleich erfolgreich vor. Versuchsperson B hingegen produziert nun eine Menge Fehler. Versuchsperson C generalisiert ihr Wissen über die Relationen der Scheiben erfolgreich und wendet somit die Regel auch für die vierte Scheibe an.

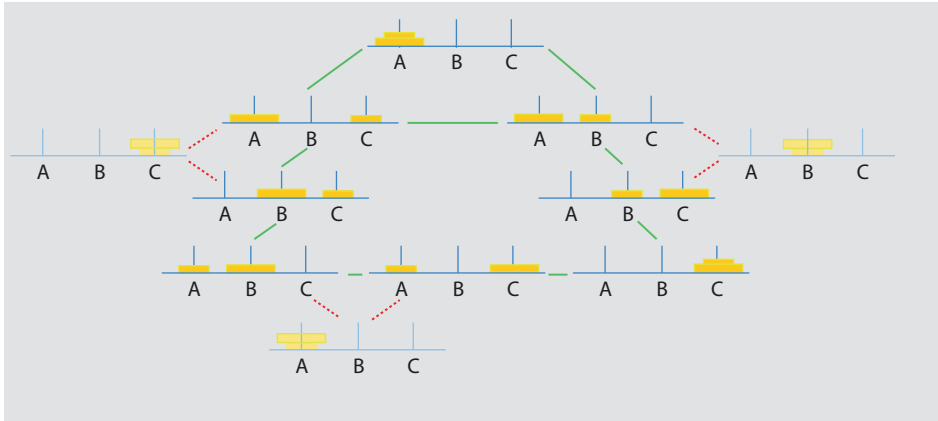
■ Planungsraum

Interessant ist für uns die Tatsache, dass aus dem Problemraum nach der erfolgreichen Lösung eines Problems ein Lösungsraum bzw. Lösungssystem entstehen kann. Es bilden sich viable mentale Repräsentationen aus, mit denen das Individuum operieren kann. Der bereits erwähnte Artikel von Conant enthält folgenden Passus: „... that any regulator that is maximally both successful and simple must be isomorphic with the system being regulated.“ (Conant, 1970, S. 89). Wenn ein System durch die richtigen Schritte reguliert werden soll, so muss in der regulierenden Person ein viables Modell des Systems vorliegen. Ein solches Modell ermöglicht der Person, die Zustände des Systems verlässlich zu antizipieren. Eine solche Antizipation findet sich in unserem obigen Beispiel in der Folgerung, dass kleinere Scheiben unter einer größeren Scheibe zerbrechen würden. Daher wäre ein solcher Error zu vermeiden, was durch die Antizipation ermöglicht wird. Hieraus leiten sich die erlaubten Schritte in der Antizipation ab. Die beschriebene Isomorphie der Systeme ist nur durch eine Modell-Konstruktion des Individuums zu erreichen, diese kann im Individuum entweder durch Instruktion oder durch Exploration angelegt werden. Mit anderen Worten, ein Problemraum kann nur über diese beiden Prozesse in einen „Informationsraum“ (Ebeling et al., 1998) bzw. Planungsraum transformiert werden. In unserem Beispiel ist Versuchsperson A mündlich in das Regelwerk eingeführt worden. Sie konnte eine Modellvorstellung mithilfe dieser Instruktion entwickeln. Die Personen B und C haben eine solche Instruktion nicht erfahren. Da die Personen aber auch nicht explizit dazu instruiert worden sind, das System zu explorieren, durchsuchen sie das System auch nicht sofort systematisch. Dies führt dazu, dass Person B sich zufällig durch das System bewegt, ohne einen Error zu produzieren. Diese Person konnte dadurch kein vollständiges Modell zum ToH konstruieren, was dazu führt, dass sie im zweiten Durchgang Fehler im System produziert. Person C bewegt sich hingegen im ersten Durchgang mit Fehlern durch das System. Sie markiert den jeweiligen Error im Gedächtnis und kann anschließend aus der Erfahrung mithilfe von Inferenzen ein vollständiges Regelwerk ableiten. Ihr Verhalten kann daher als explorativ, wenn auch nicht intuitiv explorativ, bezeichnet werden.

Wir haben bereits zu Beginn des Kapitels die Trajektorie des ToH betrachtet (■ Abb. 4.17)

■ Exploration

Wir wollen Problemlösen erst als erfolgreiches Problemlösen ansehen, wenn nicht ein einmaliges Entfernen einer Barriere erfolgt ist, sondern aus dem Gesamtprozess gelernt worden ist. So dass ein Error in einer möglichen Wiederholung vermieden wird, was als Effektivität zu bezeichnen ist. Nun ist es hierbei möglich, dass sogar eine Verbesserung stattfindet. Das Vorgehen erfolgt z. B. mit einer Abkürzung oder zeitlich schneller, hier sprechen wir von der Effizienz. Es ist zu erkennen, dass Problemlösen eine spezielle Form von Lernen darstellt, ein „Lernen durch Exploration“. Wir gehen also davon aus, dass durch eine Exploration interne Modelle konstruiert werden. Während einer Exploration entstehen allerdings durchaus Error aufgrund falscher



■ **Abb. 4.17** Die Trajektorie des Turm von Hanoi. Es ist der vollständige Problemraum dargestellt, in dem sich der Planungsraum befindet. Die gestrichelten Verbindungen stellen nicht erlaubte Operatoren dar, sie führen zu einem Error. In den durchgezogenen Verbindungen bilden sich die erlaubten Operatoren ab. Innerhalb des Planungsraumes resultieren daher nur noch unterschiedliche Effizienzwerte. Effektiv ist hier jeder Zug, da er nicht zu einem Error führt

Prognosen, durch die wesentlich gelernt und das Modell verbessert wird. Sehr passend definiert Weltner (1970) in diesem Zusammenhang das Konstrukt „Lernen“ als „Aufbau interner Modelle der Umwelt, die eine Transinformation auf eben diese Umwelt haben“ (S. 115). Der biologische Zweck eines solchen Lernens dient einem angepassten Verhalten. Das Individuum wird fähig, rational zu planen und begründet zu handeln. Denn der Aufbau interner Modelle gibt dem Individuum anschließend die Möglichkeit, zu antizipieren. Erst wenn Modelle vorliegen, können von einer Person Hypothesen aufgestellt werden, die eine prognostische Valenz aufweisen (Fenk, 1986). Der Übergang vom Problemraum zum Planungsraum ist demnach fließend. Solange der Problemraum noch nicht vollständig ist, muss das Individuum mit Unsicherheit bzw. Unschärfe umgehen. Wir wollen daher an dieser Stelle die begriffliche Unterscheidung betonen: in einem Problemraum sprechen wir bei einer Vorhersage von einer „Prognose“, in einem Planungsraum sprechen wir hingegen von einer „Antizipation“. Im Planungsraum liegt das Modell in seiner vollständigen Schärfe vor und steht dem Individuum vollständig zur Verfügung. Mayer bezeichnet dies auch als „schematische Antizipation“ (Mayer, 1992, 1995). Die vollständigste Schärfe der Informationsverarbeitung während des Problemlösens liegt aus unserer Perspektive im AG. Ein kleines Modell kann durchaus komplett in dieser Komponente abgebildet werden. Dies wäre z. B. der Fall, wenn die drei erwachsenen Versuchspersonen den ToH mit lediglich zwei Scheiben zu bearbeiten hätten. Der ToH führt uns allerdings als Interpolationsproblem sehr schön vor Augen, dass der Grad zwischen Problem und Aufgabe eben nicht nur in der Vollständigkeit des Modells liegt, sondern besonders in der Größe des Modells.

■ Cognitive load of planning

In dem Fall, in dem Personen das Paradigma ToH mit mehr als zwei Scheiben zu lösen haben, wird von einem Interpolationsproblem gesprochen. Hätten die Personen den ToH lediglich mit zwei Scheiben zu bearbeiten, so würden sie es nicht als Problem empfinden und allenfalls von einer Aufgabe sprechen (Kotovsky, Hayes & Simon, 1985). Doch wo liegt der Unterschied? Wir haben bereits besprochen, dass alle Probleme in Interpolationsprobleme überführt werden können und anschließend ein Interpolationsproblem in eine Aufgabe überführt werden kann. Der Unterschied zwischen einem Interpolationsproblem und einer Aufgabe kann in einer „Überflutung“

des AG gesehen werden. Gunzelmann u. Anderson sprechen in diesem Fall vom „cognitive load of planning“ (Gunzelmann & Anderson, 2003). Eine umfangreiche Studie zum Paradigma ToH liegt auch von Kotovsky, Hayes und Simon (1985) vor. Das Konzept zum Cognitive Load unterscheidet hauptsächlich zwischen einem Intrinsic Load, der sich auf die wesentliche Information einer Aufgabe bezieht, einem Extraneous Load, der die Markierung der für eine Aufgabe unwesentlichen Information darstellt und einem Germane Load, der eine notwendige Belastung aufgrund der Schemakonstruktion darstellt (Sweller, 1988; Mayer, 2005; Schnotz & Kürschner, 2007). Auch wenn das Konzept des „cognitive load of planning“ aktuell keine besondere Berücksichtigung mehr findet, könnte es sich in den Augen des Autors gerade dazu eignen, als Planning Load die Differenzen zwischen Problemen und Aufgaben bzgl. des CL distinguiert zu markieren. Kann ein Modell einer Aufgabe nicht vollständig im AG abgebildet werden, so bedarf es entweder bestimmter Strategien, den Informationsaustausch zwischen AG und LZG zu beherrschen oder die Person muss auf weitere Heuristiken zurückgreifen, wie etwa die Verfügbarkeitsheuristik. Heuristiken sind im Unterschied zu Strategien mit Unsicherheit verbunden. Es ist daher an dieser Stelle wichtig, noch einmal das AG-Modell nach Baddeley zu betrachten und dieses Mal im Zusammenhang mit dem problemlösenden Denken.

4.3.2 Von der Episode zu den Epistemen

Eine Situation ist für einen Organismus immer ein Übergang von einem Ist-Zustand in einen Soll-Zustand, der anschließend zu einem Ist-Zustand wird. Antizipation kann als der sichere Weg vom Ist- zum Soll-Zustand betrachtet werden, wobei ein Algorithmus bzw. eine Reihe von Operationen zur Anwendung kommen. Sind Soll-Zustand oder Operator hingegen unbekannt, so wird der Prozess der Heuristik wichtig. Die Heuristik ist im Vergleich zum Algorithmus ein unsicheres Verfahren, ein Ziel zu erreichen. Sie ist vielmehr eine Suche, die mit dem problemlösenden Denken auf den Plan gerufen wird. Wir konnten bislang erkennen, dass problemlösendes Denken unmittelbar mit der Entstehung neuer Schemata, neuer Modelle oder der Erweiterung von Schemata bzw. von Modellen in Verbindung steht. Diese Integration von Information kann insgesamt als Aufbau von Wissensstrukturen verstanden werden (Klix, 1988a; Putz-Osterloh et al., 1988; Schnotz, 1993; Bischof, 2009). Schemata bzw. Modelle bilden insofern immer einen rationalen Bereich. Alles, was noch nicht zum rationalen Bereich eines Individuums gehört, bildet einen potenziellen rationalen Bereich. Das Erreichen von Grenzen in rationalen Bereichen, also die unscharfen Bereiche in denen Informationen fehlen, führt zu einer Funktion, die Maturana als Emotionsdynamik beschrieben hat. Ist ein potenziell rationaler Bereich noch nicht in einen rationalen Bereich überführt worden, so wollen wir dies als offene Episode bezeichnen.

■ Kodierung

Unschärfe bzw. Unsicherheit ist fehlender Information gleichzusetzen und scheint demnach immer mit Emotionen in Verbindung zu stehen. Eine Situation bildet also entweder eine Zeichensituation ab und somit einen rationalen Bereich oder das Individuum befindet sich in einer Situation, die durch Unschärfe gekennzeichnet ist und somit eine Emotionsdynamik hervorruft. Wird das AG überlastet, greift das Individuum in einer rationalen Situation auf Strategien zurück, um das AG mithilfe der LZG-Struktur gezielt und sicher zu entlasten. Eine Strategie führt in diesem Sinne zu einer sicheren Weiterführung der rationalen Situation. Das Individuum ist sich sicher, die notwendige Information später gezielt aus dem LZG dekodieren zu können. Sind solche speziellen Strategien für eine Situation noch nicht entwickelt, erfolgt das Enkodieren unter einer gewissen Unsicherheit. Das Individuum gibt die Information an das LZG ohne eine

Sicherheit auf späteres erfolgreiches Dekodieren ab. Die Einspeicherung unterscheidet sich in diesen beiden Situationen in Hinsicht auf eine Systematik. Systematisches Enkodieren und Dekodieren erfolgt erst, wenn sich Codesysteme entwickelt haben. Codesysteme können als eindeutige Zuweisungen und Verarbeitungen von Informationen betrachtet werden. Wird ein Problem gelöst, so entsteht ein erster Code. Entwickelt sich die Problemlösung von ihrer Effektivität hin zur Effizienz, so liegt dies an der Optimierung des vorhandenen Codesystems. Harnish (2002) bezeichnet Code bzw. Programm wie folgt:

- » A program is a finite list of instructions from some (programming) language. Programs usually are intended to encode an algorithm and we will henceforth assume that a program does that. ... The relation of an algorithm to a program is similar to the relation between a number and a numeral: a single number can be designated by many numerals (e.g. Arabic, roman, binary), just as a single algorithm can be coded into many programs from many languages (Basic, Pascal, Lisp, Prolog). Or better, the relation between a program and an algorithm is like the relation between a word (sound, shape) and its meaning – different words can have the same meaning (cat, Katz, chat) in different languages. (Harnish, 2002, S. 124)

■ Holistischer Code

Der Begriff Programm kann hier als Programm-Code oder einfach als Code betrachtet werden. Wir betrachten das Zitat, weil es uns vor Augen führt, dass Algorithmen, die sich nach dem Problemlösen herausbilden, auf Codesystemen beruhen. Codesysteme ermöglichen also erst das Enkodieren und Dekodieren von Information bzw. erst durch sie wird Systematik darin erzeugt. Die bereits oben diskutierte Selektivität ist unmittelbar von diesem Codesystem abhängig. Je besser ein Code aufgebaut ist, desto besser funktioniert die Selektivität. Harnish (2002) zeigt auf, dass völlig unterschiedliche Codesysteme das gleiche Ergebnis produzieren können. Während des Problemlösens legt ein Individuum durch das Enkodieren einen Code an, auf den beim späteren Dekodieren wieder zurückgegriffen werden muss. Da das Zusammenspiel zwischen AG und LZG von diesen Codes abhängig ist, beschäftigen sich einige Autoren mit der Frage, ob im LZG noch die spezifischen Codes des AG beibehalten werden oder ob es auf der Ebene zwischen AG und LZG einen einheitlichen Code gibt. Besonders der Suchprozess nach der richtigen Information im LZG, also das Dekodieren, lässt einige Autoren darauf schließen, dass spätestens an dieser Schnittstelle von einem einheitlichen Code, von Klimesch als „holistic code“ (Klimesch, 1994, S. 26) bezeichnet, ausgegangen werden kann und sollte. Es wird also vermutet, dass die Entlastung des AG unter Verwendung des LZG in einem einheitlichen Codesystem erfolgt. Als zentralste Strategie, das AG zu entlasten, wird das Erstellen von Unterzielen betrachtet (Gunzelmann & Anderson, 2003; Case, 1985).

Subgoals Planung wird als fundamentaler Teil des Problemlösens angesehen. So können Planungsprozesse zwar durchaus ohne den Prozess des Problemlösens auskommen, Problemlösen kann hingegen nicht ohne Planungsprozesse stattfinden (Funke & Fritz, 1995). Ursächlich wird hierbei die begrenzte Ressource des AG betrachtet (Gunzelmann & Anderson, 2003; Morris & Ward, 2005). Überlastet eine Aufgabe die Ressourcen des AG, so entscheidet sich bereits an dieser Stelle, ob die Aufgabe als Problem oder weiterhin als Aufgabe bezeichnet werden kann. Liegen Strategien vor, die Aufgabe gezielt in Unteraufgaben aufzuteilen, so bleibt dieser Typus erhalten, wir sprechen dann vom „cognitive load of planning“ (CLP), andernfalls sprechen wir nun vom Problem. Der CLP kann durch aufgabenspezifische Strategien entlastet werden. Solche Strategien erzeugen Unterziele bzw. Subgoals um das Problem in seinem Umfang für die Verarbeitung

zugänglich zu halten. Solche Unterziele stehen in direkter Verbindung mit „Unterplänen“, sodass letztlich jedes Verhalten auf spezifische Unterziele und Unterpläne zurückgeführt werden kann. Bereits Miller, Galanter u. Pribram (1973) haben „direkt anwendbare Pläne“ von „Grundlagenplänen“ unterschieden:

- » Wann nun speichern wir direkt anwendbare Pläne, und wann sind es Grundlagenpläne für weitere Pläne? Der einfache Plan für das Aufsagen des Alphabets zum Beispiel wird vermutlich als solcher aufbewahrt – er wird memoriert, so wie eine andere motorische Fertigkeit. Und so ist es mit dem Plan für das Zählen, wenigstens für die ersten hundert oder zweihundert Zahlen. Werden die Zahlen jedoch komplizierter, dann ist anzunehmen, daß wir mit einem Metaplan arbeiten. ... Wir stehen hier vor interessanten Fragen zur Ökonomie des Denkens: Wie oft muß ein Plan verwendet werden, damit sich die Zeit lohnt, ihn auswendig zu lernen, statt besser einen Plan im Gedächtnis zu behalten, mit dem man ihn jeweils rekonstruieren kann? ... Hier liegt der große Vorteil von Berechnungsformeln, zusammenhängenden Regeln und Metaplänen: Sie können leicht aufbewahrt und bei Bedarf in einer unendlichen Vielfalt von unvorhergesehenen Situationen eingesetzt werden. Die Vorteile, Grundlagenpläne zur Erzeugung anderer Pläne zu haben, sind so groß, daß kein „intelligenter“ Automat, lebend oder tot, ohne sie auskommen könnte. Sie erlauben nicht nur dem Computer, in einem kleinen Bereich (z. B. bei der Erzeugung von Logarithmen) schöpferisch zu sein, sondern auch dem Menschen, in den verschiedensten Situationen in besonderer Weise kreativ zu werden. (Miller, Galanter & Pribram, 1973, S. 173)

■ Metapläne

Der Übergang vom Problem zur Aufgabe und somit von der Heuristik zum Algorithmus scheint fließend zu sein und im „Metaplan“ finden wir ein Konstrukt, das die Brücke zwischen diesen Phänomenen bildet. Miller, Galanter u. Pribram (1973) zeigen auf, dass ein komplett detailliertes Verhalten, wie etwa die korrekte Wiedergabe des Alphabets, memoriert werden muss, damit es exakt und ohne weitere Unterpläne produziert werden kann. Memorierte Pläne kommen also ohne Unterpläne aus. Die Strophe eines Gedichts kann z. B. ebenfalls memoriert werden, aber als Enkodierstrategie könnte auch die Elaboration genutzt werden (Mandl, 2006). Eine solche Form der Kodierung würde zwar anschließend ebenfalls zur korrekten Reproduktion führen, es werden allerdings Unterpläne angelegt, die mit verarbeitet werden müssen. Miller et al. (1973) fragen an dieser Stelle berechtigterweise nach der Ökonomie des Denkens: da das Memorieren die aufwendigste Form des Enkodierens darstellt, kann eine effizientere Methode, wie etwa die Elaboration, angewendet werden, die anschließend zwar nicht den reinen Abruf, aber eine Rekonstruktion erlaubt. Hier zeigt sich wieder der Zusammenhang zwischen Enkodieren und Dekodieren. Ist das Enkodieren hoch effizient, wie etwa eine Organisationsstrategie oder Elaborationsstrategie, so ist das anschließende Dekodieren weniger effizient, die effizienteste Form des Dekodierens wird durch die ineffizienteste Form des Enkodierens erreicht.

Die hier vorgestellten Prozesse zeigen sehr schön den Übergang auf, die Wissensverarbeitung in Form von Strategien leisten kann. Die durch das Memorieren erreichte Dekodierung kommt einer Automation gleich. Wissensstrukturen lassen sich insofern unterscheiden, ob sie als Automation im Organismus angelegt sind oder mithilfe von Plänen durch Konstruktionsprozesse zunächst dekodiert werden müssen. Miller et al. (1973) betonen, dass der Gebrauch von Grundlagenplänen bzw. Metaplänen üblicher ist als die vollständige Automation von Information. So kommt ihnen eine Schlüsselrolle in der Informationsverarbeitung von Organismen zu. Metapläne können besser gespeichert und breiter auf neue Situationen angewendet werden. So findet für Miller et al. der größte Teil der Informationsverarbeitung nicht in direkt anwendbaren

Plänen, sondern mithilfe von Grundlagenplänen statt. Wir werden an das ontologische Wissen nach Chomsky (1981) erinnert (► Abschn. 4.3).

Anhand von Grundlagenplänen werden Unterpläne erst erzeugt, anstatt diese direkt abzurufen. Mittels einer Strategie lassen sich aus Grundlagenplänen die anwendbaren Pläne erzeugen. Ist diese Strategie noch nicht eindeutig vorhanden, so greift hier stattdessen eine der grundlegendsten Heuristiken, die Mittel-Ziel-Analyse („means-end analysis“).

■ „Means-end analysis“

Die Mittel-Ziel-Analyse bzw. „means-end analysis“ wird eingesetzt, wenn der Ist-Zustand nicht unmittelbar in den Soll-Zustand transformiert werden kann und auch keine direkten Unterziele vorhanden sind (Klix, 1971; Hussy, 1984; Funke, 2003; Morris & Ward, 2005; Robertson, 2001). Diese Heuristik versucht nun, eine Gruppe von leichteren Unterzielen zu erzeugen, die den Problemlöser insgesamt näher an das Ziel bringen kann (Miller et al., 1974). Diese Unterziele entstehen durch „heuristische Transformationen“ (Hussy, 1984, S. 201), wobei nun im Unterschied zur Strategie die Operatoren („means“) nicht eindeutig sind und zunächst in ihrer unterschiedlichen Wirkung verglichen werden müssen. Diese Heuristik wird daher auch als „sub-goaling“ bezeichnet. Vorhandene Operatoren werden eingesetzt und erstellen eine unterschiedliche Anzahl an „subgoals“. Wichtig ist es nun zu beachten, dass diese Unterziele nicht unabhängig voneinander sind, sondern durch die Verwendung des Operators Interdependenzen zwischen Unter- und Oberzielen entstehen (Robertson, 2001). Hierdurch ergeben sich unterschiedliche Ebenen der Subziele.

Wir betrachten wieder unser Beispiel des ToH. Operiert eine Versuchsperson zunächst nur mit der kleinen Scheibe, so erzeugt sie Subziele auf einer ersten Ebene. Geht sie im AG alle potenziellen Möglichkeiten der Bewegung durch, die sie mit der kleinen Scheibe hat, so entspricht dies einer „Breitensuche“. Sie begibt sich zunächst nur auf die Ebene, die eine Interdependenz zwischen dem Ist-Zustand und dem ersten Unterziel erzeugt. Geht die Versuchsperson diese erste Ebene hingegen nicht systematisch ab, sondern operiert stattdessen nach der ersten Bewegung der kleinen Scheibe direkt mit einer größeren Scheibe, so stellt sie eine weitere Interdependenzebene her. Es ergibt sich eine Interdependenz zwischen Ist-Zustand, Subzielebene I und Subzielebene II. Diese Erzeugung von Interdependenzen wird als „Tiefensuche“ bezeichnet. Beiderlei Vorgehen startet vom Ist-Zustand des Problems, was in der Literatur oft als „hill climbing“ bezeichnet wird (Morris & Ward, 2005). Liegt der Person das Ziel („goal“) schon transparent vor, so kann sie die heuristischen Transformationen auch genau aus der anderen Richtung herstellen und die Interdependenz würde zwischen dem Soll-Zustand und den vorhergehenden Subebenen hergestellt werden. Dieses Vorgehen bezeichnet man als „backward-tracking“, „working backwards“ oder „goal recursion strategy“ (Robertson, 2001). Es zeigt sich, da für die Mittel-Ziel-Analyse Ist- und Soll-Zustand transparent sein müssen, dass diese Heuristik für dialektische Probleme aufgrund des fehlenden Soll-Zustandes nicht sofort einsetzbar ist. Für Interpolationsprobleme ist sie hervorragend geeignet und durch ihren Einsatz kann durch die heuristische Transformation anschließend die Informationsverarbeitung in eine Strategie überführt werden. Aus der heuristischen Struktur entwickelt sich demnach die epistemische Struktur (► Abschn. 3.3.1). Dies wäre der Fall, wenn Versuchspersonen den ToH mit drei Scheiben erfolgreich lösen und dies einige Male als Übung wiederholen. Es entsteht durch das Üben ein direkt anwendbarer Plan zu den drei Scheiben in der epistemischen Struktur. Ebenso kann zusätzlich ein Grundlagenplan zum ToH in der ES entstehen, sodass eine Versuchsperson gezielte Strategien, wie etwa die Rückwärtsuche, anwendet, wenn sie das Problem mit vier Scheiben zu verarbeiten hätte. Insgesamt führt uns diese Heuristik vor Augen, dass sie schon sehr durch das Vorwissen einer Person geprägt ist. Wie aber verhält es sich, wenn die Person einer Synthese-Barriere gegenübersteht? Also die Operatoren („means“) noch nicht vorhanden sind?

■ Reversibilität

Operatoren haben für uns die zentrale Eigenschaft, dass sie geistige Vorwegnahmen bilden, die in jedem Fall wieder rückgängig gemacht werden können (Piaget, 1973; Dörner, 1979). Hierzu finden wir bei Piaget (1973) folgende Passage:

- » Zunächst ist eine Operation eine Handlung, die interiorisiert werden kann; das heißt, sie kann ebenso im Denken wie in der äußeren Wirklichkeit ausgeführt werden. Zweitens ist sie eine reversible Handlung; das heißt, sie kann in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung stattfinden. Dies gilt nicht für alle Handlungen. ... An dieser Stelle möchte ich zwei Formen von Reversibilität unterscheiden. Die erste ist Reversibilität durch Inversion oder Negation. ... Die zweite ist Reversion durch Reziprozität. Hier handelt es sich nicht um eine Negation, sondern nur um eine Umkehrung der Ordnung; ... Das dritte Merkmal einer Operation ist, daß sie immer eine gewisse Erhaltung, eine Invariante, voraussetzt. Sie, die Operation, ist natürlich eine Transformation, da sie eine Handlung ist, aber sie ist eine Transformation, die nicht alles auf einmal transformiert, denn sonst wäre Reversibilität gar nicht möglich. ... Das vierte Merkmal ist, daß keine Operation für sich alleine besteht. Jede Operation ist auf ein System von Operationen bezogen, das wir gewöhnlich als Gesamtstruktur bezeichnen. (Piaget, 1973, S. 29f)

Piaget (1973) zeigt nicht nur die Wichtigkeit und die Formen der Reversibilität auf, sondern liefert uns die Anbindung an die vorherigen Subziele, indem er einer Operation immer eine Invariante zuschreibt, die wir als Subziel oder Ziel betrachten können. Zudem geht er davon aus, dass keine Operation für sich alleine, sondern in einem System von Operationen besteht, das er als Gesamtstruktur bezeichnet. Diese Gesamtstruktur wäre für uns ein einzelner Baustein der epistemischen Struktur. Reversibilität ist für uns eine der wesentlichen Funktionen eines Operators und wir fragen uns, wo diese Reversibilität ansetzt. Arbeitet der Operator innerhalb der Komponenten des AG? Wir wollen die reziproke Reversibilität innerhalb unserer phonologischen Schleife testen, ohne den räumlich-visuellen Notizblock zur Hilfe zu nehmen. Hierzu wird es notwendig sein, das gleich folgende Wort laut zu lesen und es innerlich viermal zu wiederholen. Dann nutzen Sie den Operator zur Reversibilität, also versuchen Sie, das Wort innerhalb Ihrer phonologischen Schleife reversibel erklingen zu lassen. Das Wort wird genau aus magischen 7 Items bestehen, sodass es die phonologische Schleife (PS) nicht überlastet. Wichtig ist es, das Wort in der PS innerlich zu wiederholen und nicht als visuelle Buchstaben im räumlich-visuellen Notizblock (RVN) zu repräsentieren. Also lesen Sie das Wort einmal laut und schauen dann zur Seite. Das Wort lautet: neseleg. Es ist uns nicht möglich, die auditiv-modulierte Information, die wir innerlich in der PS hören, innerhalb der PS reversibel abzubilden. Nehmen wir das Wort auf einem Kassettenrekorder auf und spielen es rückwärts ab, so verstehen wir es sofort. Es hat also nichts damit zu tun, dass das Wort einen anderen Klang durch die Leserichtung erhält und daher nicht zu erkennen wäre. Es liegt daran, dass die PS nicht alleine über die Fähigkeit verfügt. Erst wenn wir einen Code benutzen und zwar das Alphabet, das uns als Codesystem die Möglichkeit gibt, auditiv-modulierte Information in visuell-modulierte Information zu übertragen, können wir das Wort erkennen. Wir lesen also das Wort noch einmal und nutzen nun den Code des Alphabets unter Verwendung des RVN: neseleg. Wir können nun das richtige Wort konstruieren. Das Superzeichen neseleg muss hierbei innerhalb der phonologischen Schleife in die einzelnen Phoneme unterteilt werden. Diese können anschließend analysiert, segmentiert und abschließend transformiert und linearisiert werden. Diese hier vorgestellte Aktivität entspricht einem Planungsvorgang und wird in der linguistischen Literatur als „Makroplanung“ (Dietrich, 2007, S. 140) bezeichnet. Die Analyse erfolgt unter höchster Aufmerksamkeit. Erst dieser

schreiben wir die Fähigkeit der Reversibilität zu und wollen daher auf ein Konzept eingehen, das für das problemlösende Denken sehr zentral zu sein scheint.

■ Operativ-modulierte Muster

Operationen scheinen erst mithilfe der Aufmerksamkeit durchführbar zu sein. Erreicht eine Information den Organismus auditiv oder visuell, erzeugt diese zunächst eine funktionale Information. Ein gesprochenes Wort kann über den Rehearsal-Prozess zunächst im Organismus als funktionale Information erhalten bleiben. Soll diese Information allerdings weiterverarbeitet werden, so spielt die zentrale Exekutive eine große Rolle. Mithilfe der Lenkung von Aufmerksamkeit erzeugt diese ein Muster, das wir bereits als Aufmerksamkeitsmuster kennengelernt haben (► Abschn. 4.3). Ein solches Muster kann also einen Organismus nicht durch die Umwelt erreichen, sondern wird erst in ihm erzeugt. Dieses Muster legt sich metaphorisch gesprochen über die funktionale Information, die aus der Umwelt kommt; hierbei findet nun pragmatische Informationsverarbeitung statt. Wir wollen dem Muster den Namen „operativ-moduliertes“ Muster geben. Es entwickelt sich der von Klimesch (1994) benannte holistische Code. Lernen bedeutet nun, dass die pragmatische Informationsverarbeitung abnehmen kann. Die Transformation des Wortes neseleg, das in uns zuerst sehr viel pragmatische Information erzeugt hat, ist durch die tiefe Auseinandersetzung mithilfe der Aufmerksamkeit gelernt worden. Das Wort erzeugt noch immer pragmatische Information, aber wir können nun eine Verbindung von Superzeichen (neseleg) zu Superzeichen (gelesen) herstellen, ohne dabei, wie zuvor, auf Unterpläne zurückgreifen zu müssen. Es ist ein neuer Operator entstanden, der den Ist-Zustand direkt in den Soll-Zustand überführen kann (Hussy, 1984). Die pragmatische Information korreliert positiv mit der Anzahl der notwendigen Unterpläne. Durch Informationsverarbeitung werden Unterpläne reduziert und somit die pragmatische Information. Weniger pragmatische Information kann folglich dennoch zum gleichen Soll-Zustand führen.

Wir haben nun bis zu dieser Stelle betrachtet, dass fehlende Operatoren durch Verkettungen von vorhandenen Operatoren entstehen und damit ein synthetisches Problem in eine Aufgabe überführt werden kann.

■ Lokalisation

Uns ist bereits klar geworden, dass ein Zustand im Problemraum nicht repräsentierbar ist, bevor er erfahren worden ist. Ein klarer Zielzustand Omega liegt daher schon in einem transparenten Planungsraum, der Weg zu diesem Zustand liegt hingegen im intransparenten Problemraum. Interpolationsprobleme bilden hier die Ausnahme. Wird ein Zwischenzielzustand erzeugt, obwohl der Weg zu diesem noch nicht erkundet worden ist, so wollen wir dies als erste „Lokalisation“ bezeichnen. Hierzu finden wir bei Newell (1990) folgenden Absatz:

» At a local part of the system ..., when some knowledge is acquired from some part distal to it, the content of that knowledge is not known. If it were, then the knowledge would have been already acquired. Thus, the acquisition of some knowledge may lead to the acquisition of more. It cannot be known in advance what the knowledge is that will be brought in. That is exactly the point of local/distal distinction that the knowledge that is encoded in neural structure at a distal place cannot all be encoded locally. (Newell, 1990, S. 134)

Lokalisation stellt also genau den Punkt dar, an dem das Bewusstsein eine erste Markierung von Informationen aus der Umwelt vornimmt. Ohne Vorwissen müsste dieser Punkt völlig unwillkürlich gesetzt werden, er ergäbe sich aus reinem Trial-and-Error-Verhalten. Je mehr Vorwissen vorhanden ist, desto gezielter kann diese Markierung vorgenommen werden. Der Organismus

kann dann auf höhere Heuristiken als die des Trial-and-Error-Verhaltens zurückgreifen. Das Konzept der bereits erwähnten Evaluatoren (► Abschn. 3.3.1) spielt eine Rolle, wenn Grenzen des Vorwissens markiert sind (Whitehead, 2000), denn dann kann der Umweg über eine Extrapolation des Vorwissens vermieden werden. Wir wollen dies als Konzept der somatischen Marker anschließend vertiefen. Zunächst betrachten wir kurz, was unter Extrapolation zu verstehen ist.

■ Extrapolation

Das oben beschriebene Vorgehen der Verkettung bekannter Operatoren zu neuen Operatoren ist nur möglich, wenn diese im Vorwissen vorhanden sind. Dörner bezeichnet die bei diesem Vorgehen verwendeten Heuristiken als „Umstrukturierungsheuristiken“ (Dörner, 1979, S. 77). Dies entspricht unserer bereits diskutierten Perspektive, dass die Aufmerksamkeit eines Individuums durch das Vorwissen, also durch die vorhandenen Operatoren, geleitet werden kann. Wird ein Operator in seine Untereinheiten zerlegt, so wollen wir dies als Extrapolation bezeichnen. Man könnte auch sagen, dass sich durch Extrapolation Wissensstrukturen bzw. Schemata immer weiter entfalten (Bischof, 2009). Extrapolation ist aber nur solange möglich, wie Vorwissen vorhanden ist (Dörner, 1979). Wird ein Punkt erreicht, an dem im Vorwissen bzw. der entfalteten Operatorkette Unschärfe vorliegt, muss diese in Schärfe überführt werden; das Schema wäre dann zu erweitern. Um eine solche Lücke zu schließen, ist die Exploration notwendig (► Abschn. 4.3.1). Erst anschließend kann eine vollständige neue Kette entstehen und somit aus ihr ein neuer Operator bzw. „Makrooperator“ (Hussy, 1984, S. 206). Mayer sieht in der Vervollständigung dieser neuen Kette den Kern, um von „Einsicht“ sprechen zu können (Mayer, 1995).

■ Evaluation

Ein neuer Operator sollte aus einer Kette nicht entstehen, wenn er nicht zum Ziel führt. Dies bedeutet, dass eine Operatorkette zunächst darauf überprüft werden muss, ob sie zu einem Error in der Umwelt führt oder nicht. Es muss also beobachtet werden, ob ein Ziel erreicht oder ein Error produziert worden ist. Wir bezeichnen dies als Evaluation. Hussy (1984, 1998) spricht in diesem Zusammenhang von „Evaluatoren“ (Hussy, 1984, S. 189), die insgesamt die Auswahl von Zwischenzielen und Zielen determinieren und die in ihrer Gesamtheit als „Bewertungswissen“ (Hussy, 1985, S. 70) bezeichnet werden können. Insgesamt kommt dieser Prozess nun der bereits erwähnten TOTE-Einheit gleich. Das Problemlösen geht an dieser Stelle in einen Probeplanungsprozess über. Erreicht die provisorische Kette nicht das Ziel, so sollte diese nicht beibehalten werden. Es ist also wichtig, dass eine solche Operator-Kette nicht direkt im LZG konsolidiert wird. An dieser Stelle bietet es sich an, das von Rogers u. McClelland (2004) vorgestellte Konzept einer Struktur zum „rapid learning of new episodes“ zu berücksichtigen (► Abschn. 4.2.3). Auch bei Anderson (1983) finden sich ähnliche Gedanken zum „storage of temporary structures“ in seinem Modell ACT wieder (► Abschn. 3.3.2). Eine solche Struktur findet im bisherigen Modell zum AG nur wenig Beachtung, da diese auf tiefere Formen der Kodierung zurückgreift, die wir als operativ-modulierte Codes betrachten.

■ LE²BE-Einheit

Problemlösen und Planen gehen ineinander über, sodass in Hinsicht auf das Problemlösen die TOTE-Einheit als Planungseinheit integrativ zu betrachten ist, für den Gesamtprozess aber nicht ausreicht. Wir haben bis hierher allerdings alle notwendigen Konstrukte einer neuen Einheit kennengelernt, die vielmehr als die TOTE-Einheit die Entstehung einer solchen beschreiben und somit über das Planen hinaus auf das Problemlösen eingehen: aus den Prozessen Lokalisation-Extrapolation-Exploration-Beobachtung-Evaluation ergibt sich eine „LE²BE-Einheit“. Ein Individuum kann aus einer Lokalisation schließen, ob Vorwissen vorhanden ist, das zu extrapolieren wäre, oder ob sie bei fehlendem Vorwissen direkt nach der Lokalisation in die Exploration

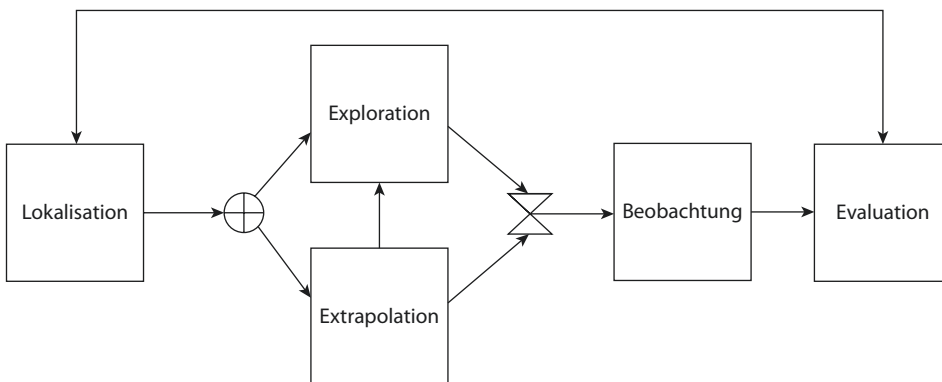
übergeht; dies verbirgt sich hinter „E²“. Einen sehr vergleichbaren Ansatz finden wir nach Polya (1967) bei Miller et al. (1973) zusammengefasst:

- » Polya (1949) unterscheidet in seinem populären Buch ‚Schule des Denkens‘ vier Phasen des heuristischen Prozesses: Erstens muß die Aufgabe verstanden werden. Wir müssen klar sehen, welche Angaben gegeben sind, welche Lösungsbedingungen festgesetzt sind, und welches die Unbekannte ist, die wir suchen.
- Zweitens müssen wir einen Plan entwerfen, nach dem wir zu einer Lösung kommen, und die gegebenen Angaben mit der Unbekannten in Beziehung setzen. Drittens müssen wir unseren Plan zur Lösung ausführen und dabei jeden Schritt, den wir machen, nachprüfen. Viertens sollten wir den gefundenen Lösungsweg noch einmal ansehen und ihn kritisch prüfen, abwägen, vergleichen und entscheiden, ob vielleicht eine Verbesserung möglich ist. (Miller et al., 1973, S. 174)

Die von Polya direkt auf der ersten Seite in seiner „Schule des Denkens“ (Polya, 1967) aufgeführten und von Miller et. al. (1973) zusammengefassten Phasen des Problemlösens stehen unserer LE²BE-Einheit sehr nahe. Die zentrale Phase des Problemlöseprozesses ist für uns demnach der Wechsel zwischen der Vorwissensleitung der Aufmerksamkeit in der Extrapolation und der Mediumleitung der Aufmerksamkeit in der Exploration. Hier liegt der Unterschied zu Polya, der diese Phasen als „Ausdenken eines Planes“ (Polya, 1967, S. 1) bezeichnet. In unseren Augen kann die zentrale Exekutive zwischen diesen Leitungen dirigieren und vorhandene Lücken im Schema bzw. Modell schließen. Hierzu greift sie unserer Ansicht nach auf die Struktur des episodischen Buffers zurück. Es kann davon ausgegangen werden, dass sämtliche Schemata und Modelle im menschlichen Wissen Lücken aufweisen, die durch Prozesse der Instruktion oder Exploration unter Verwendung des AG geschlossen werden können. An letzter Stelle bleibt die Frage offen, wie das AG solche Lücken im LZG effizient finden kann (■ Abb. 4.18).

■ Somatische Marker

Die größte Herausforderung in der Betrachtung des problemlösenden Denkens liegt im Zusammenspiel von Prozessen des AG mit dem LZG. Da wir in der vorliegenden Arbeit gezielt das bewusste Problemlösen betrachten, ist das Konzept eines AG für uns der zentrale Ausgangspunkt.



■ Abb. 4.18 Das Flussdiagramm stellt die vier Phasen der LE²BE-Einheit dar. Sehr zentral liegen die beiden Phasen der Exploration und der Extrapolation, in denen sich ausdrückt, ob die Aufmerksamkeit durch das Vorwissen oder das Medium geleitet wird. LE²BE Prozesse: Lokalisation-Extrapolation-Exploration-Beobachtung-Evaluation

Innerhalb dieser Struktur gehen wir davon aus, dass die Fokussierung von Aufmerksamkeit von der Einheit der zentralen Exekutiven gesteuert wird. Hieraus ergeben sich aus unserer Perspektive Aufmerksamkeitsmuster, die den konstruktiven Moment darstellen und einen einheitlichen Code von operativ-modulierten Mustern erzeugen. Baddeley (2002) bezeichnet ein solches einheitliches Muster als „integrierte Episoden“ (► Abschn. 3.3.3). Die Fokussierung der Aufmerksamkeit durch die ZE folgt entweder einer äußeren Lenkung durch ein Medium oder einer inneren Lenkung durch Vorwissen, also einem Schema (Wright & Ward, 1998; Tipper & Weaver, 1998). Aufmerksamkeit kann demnach durch das Individuum mithilfe von sicherer Antizipation durch ein Schema oder unsicherer Prognose in einem unvollständigen Modell her gesteuert oder von außen durch einen medialen oder anthropogenen Instruktor geleitet werden. Die Leitung durch das Vorwissen mittels Antizipation ist vollständig einem rationalen Bereich zuzuordnen, während die Prognose nicht mehr vollständig im rationalen Bereich liegt. Ihre Aufgabe ist es vielmehr, diesen Bereich anschließend zu erweitern. Wenn das Individuum keine Möglichkeit der rationalen, durch Vorwissen geleiteten, Steuerung von Aufmerksamkeit und Operationen zur Verfügung hat, gerät es an die Grenzen seines Wissens. Alleine durch rationales Vorgehen mittels gezielter Operationen kann an diesen Randbereichen des Wissens keine Indifferenz mehr hergestellt werden. Wir folgen Piaget, wenn er sagt, dass das Produkt einer Operation etwas Indifferentes erzeugt. Den Randbereich des Wissens hat Maturana (2000) als unscharfe Bereiche beschrieben und er geht von Emotionsdynamiken aus, durch die die Aufmerksamkeit zwischen rationalen Bereichen übergeleitet wird (► Abschn. 4.3). Hieraus kann gefolgert werden, dass ein rationaler Bereich an seinen Rändern durch emotionale Signale markiert ist, die sozusagen die indifferente Markierung des Rationalen ersetzen. Das Konzept solcher emotionalen Marker geht auf Damasio (2007) zurück. Er spricht von den „somatischen Markern“ (Damasio, 2007, S. 227). Damasio berücksichtigt zunächst ebenfalls den rein rationalen Bereich:

» Nach dem höheren Vernunftbegriff, der der allgemeinen Auffassung entspricht, handeln wir, wenn wir unsere besten Entscheidungen treffen, zur Freude und zum Wohlgefallen von Platon, Descartes und Kant. Die formale Logik alleine wird uns zur bestmöglichen Lösung eines jeden Problems führen. Dabei ist ein wichtiger Aspekt der rationalistischen Vorstellung, daß wir die Gefühle ausklammern müssen, um möglichst vorteilhafte Ergebnisse zu erzielen. Rationale Prozesse dürfen nicht von Leidenschaften behindert werden. ... So betrachten Sie z. B. die Folgen jeder Wahlmöglichkeit zu verschiedenen Zeitpunkten in der antizipierten Zukunft, um die daraus folgenden Verluste und Gewinne gegeneinander abzuwägen. Da die meisten Probleme in diesen Szenarien weit mehr als nur zwei Alternativen besitzen, ist ihre Analyse in den einzelnen logischen Schritten alles andere als leicht. Dabei ist schon das Problem mit zwei Alternativen gar nicht so einfach. ... In wesentlichen Teilen wird diese Berechnung von der fortwährenden Erzeugung weiterer Szenarien abhängen, die unter anderem auf visuellen und akustischen Mustern beruhen. Begleitet werden diese Szenarien von verbalen Erzählsequenzen, die wichtig für die Fortsetzung des logischen Prozesses sind. (Damasio, 2007, S. 234f.)

Damasio (2007) beschreibt also ebenfalls den von uns behandelten rationalen Bereich der Antizipation bzw. der antizipierten Zukunft. Zudem berücksichtigt er die von uns betrachteten Unterpläne bzw. Zwischenschritte im Zusammenspiel mit der begrenzten Ressource des AG:

» Die Repräsentationen von Zwischenschritten, die Sie sich eingepägt haben und nun vergegenwärtigen müssen, um sie in irgendeine symbolische Form für die weitere logische Verarbeitung zu bringen, werden einfach aus Ihrem Gedächtnis verschwinden.

Sie werden die Spur verlieren. Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis sind von begrenzter Kapazität. ... Wichtig ist, daß die Mängel dieser gängigen Auffassung nicht auf das Problem der begrenzten Gedächtniskapazität beschränkt sind. Selbst wenn Papier und Bleistift bereitliegen, um die erforderlichen Fakten festzuhalten, sind auch die schlußfolgernden Strategien mit Fehlern behaftet, wie Amos Tversky und Daniel Kahneman nachgewiesen haben. Stuart Sutherland meint, eine dieser entscheidenden Schwächen könnte unsere tiefere Unkenntnis und unsere unzulängliche Verwendung von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik sein. Trotzdem ist unser Gehirn oft in Sekunden oder Minuten, je nach dem zeitlichen Rahmen, der der Zielsetzung entspricht, zu ausgezeichneten Entscheidungen in der Lage. Da es das vermag, hält es sich offenbar nicht nur an die reine Vernunft. Folglich brauchen wir eine alternative Auffassung. (Damasio, 2007, S. 236)

Damasio (ebd.) spielt also auf einen Bereich an, der nicht mehr unter der vollständigen Kontrolle des rationalen Denkens steht. Dieses muss allerdings aufgrund seines begrenzten Raums innerhalb des AG auf diesen Bereich zurückgreifen. Als Anknüpfungspunkte für das rationale Denken führt er nun sein Konzept der „somatischen Marker“ ein:

- » Kurzum, somatische Marker sind ein Sonderfall der Empfindungen, die aus sekundären Gefühlen entstehen. Von diesen Gefühlen und Empfindungen ist durch Lernen eine Verbindung zur Vorhersage künftiger Ergebnisse bestimmter Szenarien hergestellt worden. Wenn sich ein negativer somatischer Marker in Juxtaposition zu einem bestimmten künftigen Ereignis befindet, wirkt diese Zusammenstellung wie eine Alarmglocke. Befindet sich dagegen ein positiver somatischer Marker in Juxtaposition, wird er zu einem Startsignal. ... Somatische Marker nehmen uns das Denken nicht ab. Sie helfen uns beim Denken, indem sie einige (gefährliche oder günstige) Wahlmöglichkeiten ins rechte Licht rücken und sie rasch aus allen weiteren Überlegungen ausklammern. Sie können sich das Ganze als ein automatisches System zur Bewertung von Vorhersagen vorstellen, das die außerordentlich verschiedenen Szenarien Ihrer antizipierten Zukunft beurteilt, ob Sie es wünschen oder nicht. Es handelt sich gewissermaßen um einen Tendenzapparat. ... Es dürfte deutlich geworden sein, daß zwischen den sog. kognitiven Prozessen und den Prozessen, die gemeinhin als ‚emotional‘ bezeichnet werden, eine enge Partnerschaft besteht. (Damasio, 2007, S. 238f.)

Somatische Marker (SOMA) übernehmen für Damasio (ebd.) die Funktion von Start- und Endmarkierung eines rationalen Prozesses. SOMA gehen also über den üblichen Bereich der Kognition hinaus und das Konstrukt der SOMA befindet sich in großer Nähe zum Konstrukt der Emotion (Stäudel, 1987; Roth, 1989; Mitmansgruber, 2003). Es sind in seinen Augen sekundäre Emotionen. Der von Damasio (2007) beschriebene Tendenzapparat erinnert uns an dieser Stelle sehr an die von Hussy (1983) eingeführte evaluative Struktur (EVS). Informationen werden hier bewertet und erhalten eine entsprechende Markierung. Interessant ist, dass Damasio (2007) diese Struktur später zusätzlich mit stochastischen Prozessen und somit mit den Bereichen der Unschärfe in eine direkte Verbindung bringt. Ein Bereich, der weit über das bewusste Lösen von Problemen hinausgeht, aber für dieses von beachtlicher Bedeutung ist. Diese stochastischen Prozesse bezieht er auf zufällige Ereignisse, die für ihn eher als „privat“ zu bezeichnen sind:

- » Deshalb spreche ich hier von Zufall: Es handelt sich um einen ganz privaten Aspekt, der allein in Ihrer Erfahrung verwurzelt und von Ereignissen abhängig ist, die sich von Individuum zu Individuum unterscheiden. ... Die ganze präfrontale Region scheint damit

befäßt zu sein, zufallsbestimmte Ereignisse nach Maßgabe der persönlichen Relevanz zu kategorisieren. ... Kategorisierte Zufallsereignisse bilden die Grundlage für die Erzeugung vielfältiger Szenarien von künftigen Handlungsergebnissen, die erforderlich sind, um Vorhersagen zu machen und zu planen. (Damasio, 2007, S. 248-250)

Zufälligkeit steht hier also eher für die uneinheitliche Erfahrung von Ereignissen zwischen Individuen, die dennoch zu einem ähnlichen ontologischen Wissen führen können, den Kategorien. Kategorien bilden nun die Grundlage der Antizipation, die der Autor im präfrontalen Kortex verortet, was von einer ganzen Reihe von Autoren vorgenommen wird (Goldberg, 2002; Calvin, 2004; Pritzel, Brand & Markowitsch, 2003). Damasio (2007) erläutert diesen Zusammenhang wie folgt:

- » Erstens, der präfrontale Cortex empfängt Signale aus allen sensorischen Regionen, in denen für unsere Gedanken konstitutive Vorstellungsbilder entstehen – auch aus den somatosensiblen Feldern, in denen frühere und aktuelle Körperzustände fortwährend repräsentiert werden. Gleichgültig, ob die Signale in Wahrnehmung entstehen, die sich auf die Außenwelt beziehen, in Gedanken, die wir über die Außenwelt machen, oder durch Ereignisse im Körper, in jedem Fall empfängt der präfrontale Cortex diese Signale. ... So enthält der präfrontale Cortex einige der wenigen Hirnregionen, die jederzeit Signale über praktisch jede Aktivität in unserem Geist und Körper empfangen. (Der präfrontale Cortex ist nicht der einzige Horchposten; zu ihm gehört auch die Area entorhinalis, das Tor zum Hippocampus.) (Damasio, 2007, S. 247)

Die von Damasio (ebd.) erwähnten Zusammenhänge lassen uns nun wieder unmittelbar an unser Konzept der „kognitiven Fliese“ nach Foerster u. Müller (2008) aus ► Abschn. 4.2.3 anknüpfen, denn dieser kognitive Baustein benötigt während der Verarbeitung von Informationen immer eine Zusammenführung von Ereignissen der Umwelt mit Ereignissen im Körper (■ Abb. 4.8). Damasio (ebd.) fasst den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und somatischen Markern wie folgt zusammen:

- » Auf den präfrontalen Cortex bezogen, denke ich, daß somatische Marker, die auf den im ventromedialen Abschnitt gelegenen bioregulatorischen und sozialen Bereich einwirken, die Arbeitsweise von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis im dorsolateralen Abschnitt beeinflussen – dem Bereich, von dem die Aktivität anderer Wissensbereiche abhängen. Das lässt die Möglichkeit offen, daß somatische Marker Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis auch innerhalb des bioregulatorischen und sozialen Bereichs selbst beeinflussen. Mit anderen Worten, bei normalen Individuen fördern somatische Marker, die bei der Aktivierung eines bestimmten Zufallsereignisses auf den Plan gerufen werden, Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis im gesamten kognitiven System. ... Wenn wir die weite Landschaft von Szenarien, die aus unserem Faktenwissen geschaffen wird, logischen Prozessen unterwerfen, gibt es folglich drei Leistungsträger: automatische somatische Zustände mit ihren Tendenzmechanismen, Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit. (Damasio, 2007, S. 269)

Hinter den aufgeführten „Tendenzmechanismen“ verbirgt sich nun die Möglichkeit der Herstellung einer Ordnung. Da für uns Problemlösen immer Trial-and-Error und Selektivität bedeutet, ist Ordnung als wesentlicher Aspekt für Selektivität für uns ein zentrales Konstrukt. Dies haben wir bereits bei der Unterscheidung des Versuch-und-Irrtum-Verhaltens erkennen können. Damasio (ebd.) geht davon aus, dass die somatischen Marker der Herstellung einer solchen selektiven Ordnung dienen:

- » 1. Wenn eine Ordnung zwischen verfügbaren Möglichkeiten hergestellt werden muss, dann ist eine Rangfolge zwischen ihnen vorzunehmen. 2. Um sie in eine Rangfolge zu bringen, sind Kriterien erforderlich (Werte und Präferenzen sind austauschbare Begriffe). 3. Kriterien werden durch somatische Marker geliefert, die zu jedem gegebenen Zeitpunkt die übernommenen und erworbenen kumulativen Präferenzen zum Ausdruck bringen. Doch wie übernehmen somatische Marker die Rolle von Kriterien? Wenn verschiedene somatische Marker in Juxtaposition zu verschiedenen Vorstellungskombinationen gebracht werden, könnten sie den Umgang des Gehirns mit ihnen modifizieren und deshalb als Tendenz wirken. Die Tendenz könnte jedem Element eine andere Aufmerksamkeitsverstärkung zuweisen, so daß verschiedene Inhalte automatisch verschiedene Aufmerksamkeitsgrade erhielten, was sich als unebene Landschaft manifestieren würde. Das Zentrum der bewußten Verarbeitung könnte dann z. B. nach einer bestimmten Rangfolge von Element zu Element wandern. All das kann nur geschehen, wenn die Elemente über einen Zeitraum von einigen hundert bis tausend Millisekunden in relativ stabiler Form repräsentiert werden, und genau das leistet das Arbeitsgedächtnis. (Damasio, 2007, S. 270f)

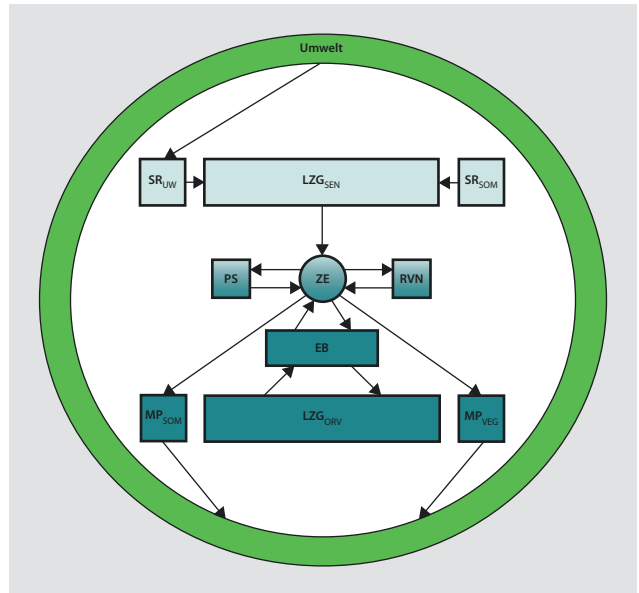
Somatische Marker liefern demnach die Möglichkeit, kumulative Präferenzen zu erzeugen, die auf das Handeln des Individuums ordnungsbildend wirken und die Aufmerksamkeit innerhalb des Vorwissens lenken können. Das Konstrukt der somatischen Marker hat uns den letzten Baustein geliefert, um die Prozesse des problemlösenden Denkens im Zusammenhang mit dem AG zu betrachten. Diese Prozesse bezeichnen wir als „Episoden“ innerhalb der Gedächtnisstruktur.

■ Episoden

Im problemlösenden Denken sind für uns die operativ-modulierten Muster von zentraler Bedeutung. Die Produktion solcher Muster schreiben wir der ZE im Zusammenhang mit dem episodischen Buffer (EB) zu, sodass letztlich nicht mehr die ursprüngliche Modulation der Information eine Rolle spielt, also etwa die auditive oder visuelle Modulation, sondern nur noch ihre Dimensionalität innerhalb einer einzigen Kodierungsform. Diese Ansicht findet sich auch bei Rudner u. Rönneberg (2008): „Thus, the episodic buffer accommodates both the formation and maintenance of unitary multidimensional representations.“ (Rudner & Rönneberg, 2008, S. 21). Wir haben zu Beginn des Kapitels die unterschiedlichen Arten der Information kennengelernt (► Abschn. 4.2.1) und können nun diese Begriffe auf unser Modell anwenden: die sensorisch-modulierte Information entspricht der funktionalen Information. Die strukturelle Information aus der physischen Umwelt des Organismus führt sozusagen zu funktionaler Information innerhalb des Organismus, z. B. in Form von Licht oder Schallwellen, die automatisch vom Organismus interpretiert wird. Dieser Bereich der Informationsverarbeitung kann in gewisser Hinsicht als passiv betrachtet werden oder als durch die Umwelt bzw. das Medium gesteuert. Sobald der Organismus die funktionale Information bewusst weiterverarbeitet, entsteht die von uns benannte pragmatische Information. Diese bewusste Informationsverarbeitung findet im AG statt. Zur bewussten Transformation benötigt der Organismus die beiden Subsysteme, die phonologische Schleife (PS) und den räumlich-visuellen Notizblock (RVN). Die eigentliche Verarbeitung findet durch Operationen statt, die durch die ZE ausgeführt und deren indifferente Produkte im EB aufbewahrt werden. Der Organismus verarbeitet an dieser Stelle die Information aktiv. Die Operationen, die er ausführt, sind von seinem Vorwissen abhängig, sodass die Steuerung ab dieser Stelle vorwissensgeleitet stattfindet. Wir betrachten zur Verdeutlichung die ■ Abb. 4.19.

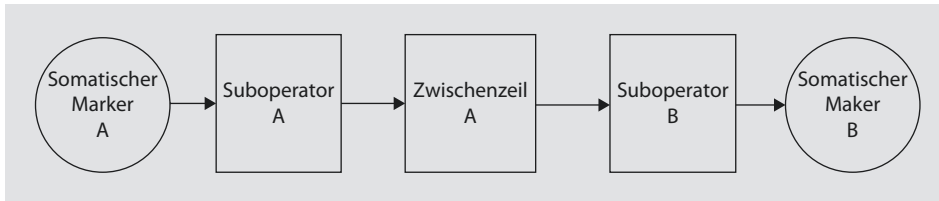
Operiert der Organismus mit der zuvor empfangenen funktionalen Information, so entsteht hierdurch die pragmatische Information. Betrachten wir in diesem Zusammenhang wieder

■ **Abb. 4.19** Für problemlösendes Denken muss das Arbeitsgedächtnis nach Baddeley erweitert werden. Das Modell ist wie jedes Modell heuristischer Natur und fokussiert die für das problemlösende Denken zentralen Bereiche. *EB* episodischer Buffer, *LZG_{ORV}* Langzeitgedächtnis, operativ, *LZG_{SEN}* Langzeitgedächtnis, sensorisch, *MP_{SOM}* motorisches Programm, somatisch, *MP_{VEG}* sensorisches Register, Umwelt, *SR_{SOM}* sensorisches Register, somatisch, *PS* phonologische Schleife, *RVN* räumlich-visueller Notizblock



das Beispiel des ToH: in einer Version mit zwei Scheiben kann eine erwachsene Versuchsperson den gesamten Planungsraum im RVN abbilden. Da allerdings auch hier die Zwischenziele aktiv mittels Operationen gebildet werden müssen, kommt auch schon für diese Unterziele der EB zum Einsatz, die Zwischenziele sind das indifferente Produkt der verwendeten Operationen. Die Aufgabe des RVN ist letztlich die Konstruktion der Repräsentation dieser visuellen indifferente Ergebnisse. Wird vom Organismus verlangt, den ToH ohne externe Hilfsmittel mit vier Scheiben zu lösen, so maximiert sich die Anzahl der Unterziele. Die Bewertung der Zwischenziele spielt hierbei nun eine wesentliche Rolle, da die Zustände im Gegensatz zur Version mit zwei Scheiben in ihrer Gesamtheit nicht mehr „überschaubar“ sind. Sie sind also nicht mehr in ihrer Gänze im RVN repräsentierbar. Die Verarbeitung zwischen ZE und EB spielt nun eine noch größere Rolle. Wir haben bereits geklärt, dass bereits an dieser Stelle eine Aufgabe (zwei Schreiben) in ein Interpolationsproblem (vier Scheiben) übergeht. Bei einer solchen Interpolationsbarriere sind alle Zwischenziele gänzlich rational und können durch logische Schlüsse bewertet werden. Die Zwischenziele können also rein rational evaluiert werden. Wesentlich schwieriger wird es, wenn der Organismus vor einem Problem steht, dessen Zwischenziele nicht mehr gänzlich rational beurteilt werden können, wie es z. B. im Neun-Punkte-Problem (► Abschn. 2.2) der Fall ist. Hier hilft eine rein logische Evaluierung der Zwischenziele nicht immer weiter und die Heuristik rückt in den Vordergrund. Nun werden Zwischenziele emotional mithilfe der SOMA gekennzeichnet. Wir befinden uns innerhalb der kognitiven Architektur an dieser Stelle daher an einer Schnittstelle zwischen heuristischer Struktur (HS) und evaluativer Struktur (EVS). Eine somatische Markierung bedeutet, dass der Organismus die indifferenten Produkte zunächst noch nicht rein rational weiterverarbeiten bzw. transformieren kann, er markiert mittels SOMA die Barriere bzw. das Problem. Hierdurch entstehen vollwertige Episoden. Unter einer „Episode“ verstehen wir: einen vorübergehenden operativ-modulierten Code, der optimiert werden kann, der eine Operator-kette bildet, die über Transformationen von Indifferenzen eine Suboperator-Subziel-Struktur darstellt, und durch SOMA an den Randbereichen markiert ist (■ Abb. 4.20).

Durch eine erste Lösung eines Problems entsteht eine vorläufige Operator-kette, die oft noch optimiert werden kann, sodass davon auszugehen ist, dass der Code innerhalb der Episode



■ **Abb. 4.20** Zu sehen ist eine Episode, die durch *somatische Marker* an ihren Grenzen markiert ist und aus *Suboperatoren* und *Zwischenzielen* gebildet wird

zunächst veränderbar vorliegt. Wir haben uns bereits in ► [Abschn. 3.2](#) ausführlicher mit Codes auseinandergesetzt. Unterschiedliche Codes können zum gleichen Ergebnis führen. Von Vorteil einer jeden Kodierung ist allerdings die Erzeugung des optimalsten Codes. Bereits Helmar Frank (1962) ist von einem zu erreichenden „Optimalcode“ ausgegangen:

- » Wir nennen nun einen „Optimalcode“ jeden Huffmancode, bzgl. dessen die subjektive Effektivinformation eines Textes nicht größer ist als die subjektive Effektivinformation desselben Textes bzgl. irgendeines andern Huffmancodes. Die subjektive Effektivinformation bzgl. eines Optimalcodes heißt objektive Effektivinformation. ... Wir kommen damit schließlich noch auf die Ungleichheitskette $H_{\text{theor}} \leq H_{\text{eff}} \leq H_{\text{sub}}$ (Frank, 1962, S. 29f.).

Diese Frage nach dem optimierbaren Code ist sehr zentral, da sie sowohl die bewusste Erzeugung von Code betrifft als aber auch die nichtbewusstseinspflichtige Kodierung in der Informationsverarbeitung. Der optimale Code ist auf allen Ebenen der Informationsverarbeitung immer an die Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten gebunden. Bei Chater u. Oaksford (2008) finden wir hierzu folgenden Passus:

- » Probability is, we have suggested, potentially relevant to understanding the mind. But it can be applied in a range of different ways, ranging from probabilistic analysis of the neural processes in perception and motor control to normative description of how decision makers should act in economic contexts. ...
- ... however, the question of how to constrain probabilistic models as far as possible is an important one. One approach, for example, is to take representation, rather than probability, as the basic construct. According to this approach, the preferred interpretation of a set of data is that which can be used to provide the shortest encoding of that data. Thus, the problem of probabilistic inference is replaced by a problem of finding short codes. (Chater & Oaksford, 2008, S. 7, 23)

An dieser Stelle finden wir also das von uns bereits thematisierte Entstehen von Effizienz wieder, das auf allen Ebenen der menschlichen Informationsverarbeitung eine Hauptrolle spielt und ein dahinterstehendes Gesetz daher nicht einer bewusstseinspflichtigen Verarbeitung von Information unterliegen muss. Dies ist insofern ein wichtiger Punkt, da wir das Ablegen der Muster in den EB als bewussten Prozess betrachten, eine dortige, innerhalb des EB, bewusste Weiterverarbeitung der Information aber vorerst noch nicht definieren können. Erst wenn die somatischen Marker durch rationale Operationen ersetzt werden können und das operative Vorgehen an dieser Stelle nicht mehr durch somatische Marker gekennzeichnet werden muss, gilt ein Problem an dieser Stelle als gelöst und die Episode wandelt sich zu einer vollständigen epistemischen Substruktur (ES_{sub}). Die ES besteht aus unserer Ansicht daher aus operativ-modulierten Mustern, die den

rationalen Bereich bilden. Der Randbereich zwischen Problemraum und Planungsraum kann durch emotionale Marker markiert werden und bietet somit der Aufmerksamkeit die Möglichkeit, an diesen Bereichen effizient anzuknüpfen. Das Indifferente der Operation ist an den Randstellen des Problems vorerst durch das Indifferente der Emotion markiert worden. Die Beachtung von Episoden ist noch eine sehr junge Perspektive und die Ansätze hierzu sind noch nicht einheitlich. Ein ähnlicher Ansatz zu dem hier vorgestellten, findet sich bei Itti u. Arbib (2006), wobei die Autoren nicht auf die somatische Komponente eingehen. Bei ihnen ist es ebenfalls wesentlich, dass die Langzeitgedächtnisstruktur differenzierter in das Modell eingebettet wird (Itti & Arbib, 2006). Wir wollen daher kurz den epistemischen Bereich des Modells vertiefen.

■ Episteme

Das problemlösende Denken setzt auf den „sensorisch-modulierten Mustern“ auf. Diese Muster sind hinsichtlich ihres Informationsgehaltes wesentlich reichhaltiger als es die für das Problemlösen notwendigen „operativ-modulierten Muster“ sind. Bereits McCulloch hat dieses Verhältnis als „Informationskorruption“ (McCulloch, 2000) bezeichnet:

» Ich möchte Informationskorruption als das Verhältnis der Information im Input zu der im Output definieren. Jedes Auge hat ungefähr einhundert Millionen Photorezeptoren, von denen jeder in einer gegebenen Millisekunde einen oder keinen Impuls aussenden kann. Mit anderen Worten: Es stellt ein Ensemble dar, das sich in einem von $2^{100000000}$ möglichen Zuständen befinden kann; die Menge der Information, über die es verfügt, beträgt also einhundert Millionen Einheiten pro Millisekunde. (McCulloch, 2000, S. 95)

Auch Newell (1990) wendet 25 Jahre später ähnliche Berechnungen an. Er geht von vier unterschiedlichen Bereichen, „band“ (Newell, 1990, S. 122), der menschlichen Informationsverarbeitung aus. Zwei Bereiche sind durch die automatische neuronale Verarbeitung gekennzeichnet: der biologische Bereich (100 μ s–10 ms) und der kognitive Bereich (100 ms–10 s). Der kognitive Bereich geht von der völlig automatischen Informationsverarbeitung in die bewusste Informationsverarbeitung über. Die beiden folgenden Bereiche sind dem Bewusstsein potenziell vollständig zugänglich, er bezeichnet sie als rationalen Bereich (Minuten – Stunden) und sozialen Bereich (Tage – Monate). Diese Ansicht steht mit unserem Modell in völligem Einklang, hier schließt sich nun auch der Kreis zu unseren Konzepten der biologischen Codes und der kulturellen Codes. Bei Hussy wird die Information auf der ersten potenziell-bewussten Ebene als Ebene der „Perzepte“ (Hussy, 1998, S. 49) bezeichnet. Auf dieser Stufe erhält die Information ihre bewusste Bedeutung. Es findet eine Deliberation von bedeutungshaltiger Information, bei Newell als „deliberate act“ (Newell, 1990, S. 122) bezeichnet, aus der vorherigen sensorisch-modulierten Information statt (Newell, 1990; Hussy, 1998). Der biologische Code wird in einen kulturellen Code gewissermaßen transferiert. In ■ Abb. 4.19 haben wir zur Kennzeichnung dieser Ebene zwei unterschiedliche Helligkeitsstufen der Farbe gewählt. Da die ZE zwischen diesen Ebenen über die Aufmerksamkeit vermittelt, findet sich in ihr der farbliche Übergang zur Kennzeichnung wieder, ebenso in den Subsystemen PS und RVN, auf die sie dabei zurückgreift. Die bewusste Deliberation der Information führt nun zu Operationen, die in ihrer Folge eine Operator-kette bilden und als rationaler Bereich die ES ausbilden; es entsteht ein Schema (► Abschn. 3.1). Als Schema kann jede Entität betrachtet werden, die ein Organismus gelernt hat, es ergibt sich letztlich aus der Suboperator-Subziel-Struktur. Da das AG nur eine sehr begrenzte Anzahl an Elementen bzw. Schemata verarbeiten kann, wird davon ausgegangen, dass Schemata wiederum zu einem Schema zusammengefasst werden können. Es kommen der Schemakonstruktion somit zwei Aufgaben zu: zum einen wird diese als Reduzierung des „working memory

load“ (Sweller 1998, S. 256) betrachtet, zum anderen wird die Information im LZG organisiert und gespeichert. Die Schemastruktur spielt für uns insofern eine wichtige Rolle, als dass die AG-Belastung zu seiner Konstruktion zwar zunächst hoch ist, die Substrukturen des AG werden dabei ausgelastet, anschließend werden die Substrukturen des AG allerdings von der Belastung durch die Information befreit und das Schema kann in diesem Sinne automatisch verwendet werden. Dieser Vorgang der Automatisierung der Information wird auch als Prozeduralisierung von Information bezeichnet (Chi, Glaser & Rees, 1982; Frensch & Sternberg, 1989). Aus diesem Grunde haben wir die ZE in die Mitte zwischen der Information aus der Umwelt, der sensorisch-modulierten Information, und der Information aus den Schemata, der operativ-modulierten Information, gesetzt. Die ZE kann die automatische Verwendung überwachen, ohne dass eine Extrapolation der Schemata in die Sklavensysteme des AG notwendig werden. Die Pfeile verlaufen daher, nicht wie in anderen Modellen üblich, direkt von den Sklavensystemen in das LZG, sondern immer über die ZE vermittelt. Eine sehr ähnliche Ansicht bzgl. der Automation finden wir bei Sweller, Merrienboer u. Paas (1998) wieder:

» Automation is an important process in the construction of schemas. All information can be processed either consciously or automatically (Schneider and Shiffrin, 1977; Shiffrin and Schneider, 1977). Conscious processing occurs in working memory and has all the characteristics described above. Automatic processing largely by-passes working memory and has quite different characteristics to conscious processing. With sufficient practice, a procedure can be carried out with minimal conscious effort (i.e., with minimal working memory load). (Sweller, Merrienboer & Paas, 1998, S. 256)

Ein automatischer Vorgang ist aus unserer Perspektive ein Vorgang, der zwischen der Umwelt, der ZE und dem EB abläuft, ohne die Substrukturen PS und RVN zu belasten. Diese werden in gewisser Weise erst notwendig, wenn in der Umwelt ein Problem auftritt, die Muster der EB werden dann in die Subsysteme PS oder RVN des Arbeitsgedächtnisses extrapoliert. Dieser Schritt ist notwendig, um den automatischen Ablauf zu unterbrechen. Es muss an dieser Stelle geprüft werden, ob es zu einer Schemaerweiterung kommen müsste oder aber nur bestimmte Informationen kurzfristig unterdrückt werden müssen. An dieser Stelle wird wieder die Dringlichkeit eines „fast-learning-systems“ deutlich (► Abschn. 4.2.3) und nun haben wir innerhalb der Architektur im EB das notwendige Element, das dazu geeignet wäre, Informationen im Informationsfluss zwischen LZG und AG kurzfristig zu unterdrücken. Damit ein automatischer Vorgang ablaufen kann, bietet sich unserer Ansicht nach an, das Modell des finiten Automaten (► Abschn. 4.2.3) als potenzielles Modell für ein Schema der ES, das eben automatisch ablaufen kann, zu betrachten (Funke & Müller, 1995). Ein solcher finiter Automat hat das Potenzial, die Relationen der Umwelt abzubilden, was als „relationales Lernen“ zu bezeichnen ist (Bredenkamp, 1998). Zudem können für eine Betrachtung des Zusammenspiels zwischen dem EB und der ES die Gesetzmäßigkeiten eines Produktionssystems, wie z. B. in ACT-R (► Abschn. 3.3.2), vollständig berücksichtigt werden, da die Muster bereits im EB unimodal angelegt worden sind, was für Einspeichersysteme eine Voraussetzung darstellt. Die Sichtweise auf die ES folgt dem Gedanken des Rationalen, wie es auch das R in ACT schon kennzeichnet (Tack, 1995; Schneider & Anderson, 2011). Die ES stellt aus unserer Perspektive im Organismus den rationalen Bereich im LZG dar.

Bis zu dieser Stelle haben wir nun ein vollständiges Bild über die kognitive Architektur während des Prozesses des Problemlösens erhalten. Wir wollen abschließend auf das problemlösende Denken in komplexen Systemen eingehen, um nun unsere bisherigen Konstrukte aller Kapitel zusammenzuführen.

4.4 Problemlösendes Denken in komplexen Systemen

Anhand der bisher vorgestellten Konstrukte und der von uns unternommenen Unterscheidung von Person, Medium und Situation (Hussy, 1985; Funke & Fritz, 1995; Funke, 2003) erweitert sich nun unser Diagramm zur Problemschwierigkeit, das sich dazu eignet, das komplexe Problemlösen in seiner Gesamtheit in den Blick zu nehmen (■ Abb. 4.21). Für uns ergibt sich die Ansicht, dass sich analytisches Problemlösen und komplexes Problemlösen anhand einer Dimension entwickeln und die unterschiedlichen Eigenschaften der Medien (► Abschn. 2.2.1), in die die problematischen Systeme eingebettet sind, den wesentlichen Faktor in den Unterschieden zwischen analytischen und komplexen Problemen darstellen (Süß, 1996). Die problemlösende Person selbst kann immer als ein komplexes System betrachtet werden. Wir haben bereits erkennen können, dass nur komplexe Systeme eine Repräsentation von komplexen Systemen zu leisten vermögen (► Abschn. 3.3). Wir wollen abschließend kurz auf die Eigenschaften komplexer Systeme im Zusammenhang mit der menschlichen Informationsverarbeitung im Einzelnen eingehen.

■ Anzahl der Variable

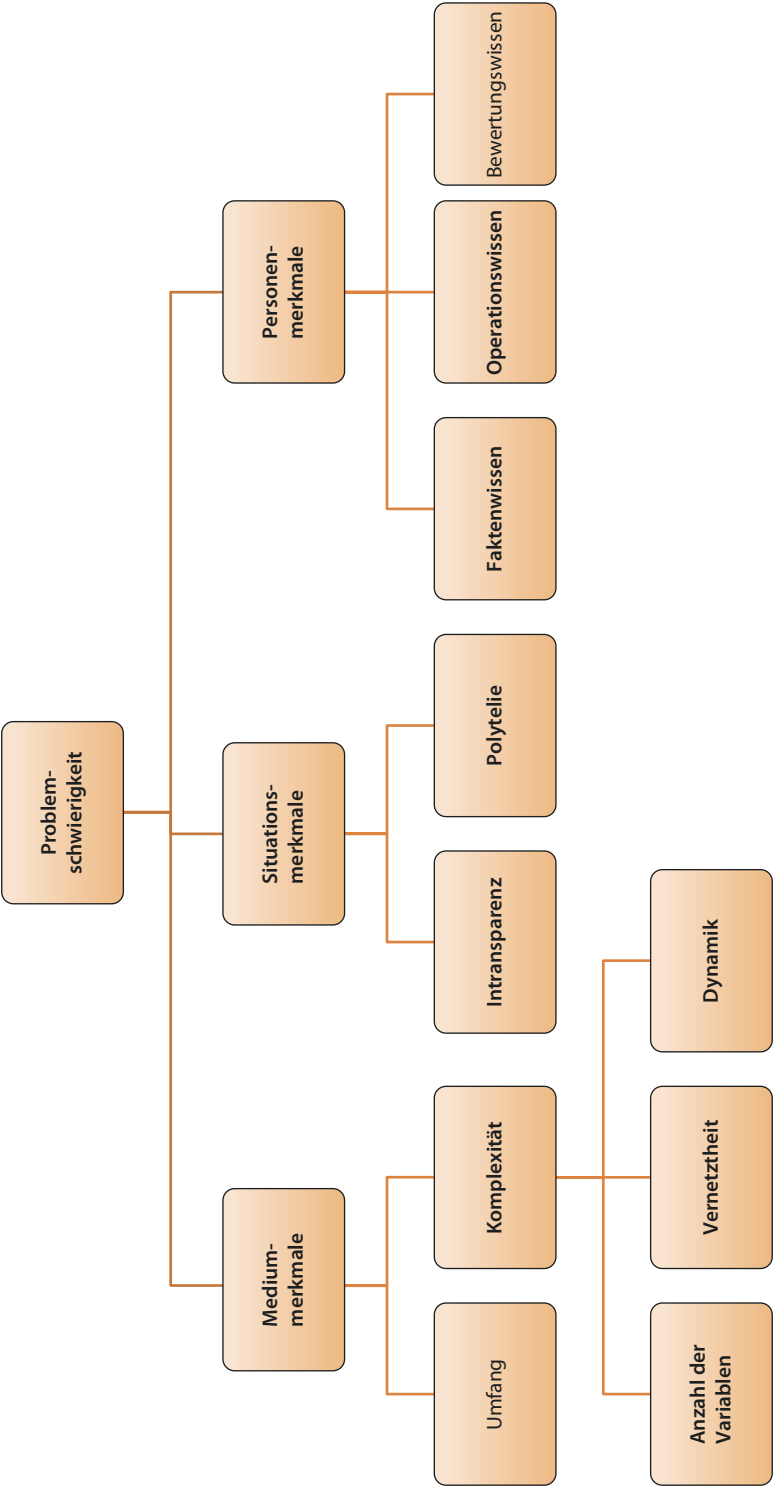
Die Anzahl der Variablen in einem komplexen System wird oft als Komplexität bezeichnet, was zunächst syllogistisch klingt (► Abschn. 2.3). Die Anforderung an eine komplexe Struktur ist, dass sie ihre eigene einfachste Beschreibung ist. Sie sollte also komplett unredundant sein (Simon, 1962). Der zentrale kognitive Prozess liegt demnach in der Enkodierung, die aufgrund der Unredundanz den effizientesten Code hervorbringen sollte (► Abschn. 4.3.2). Hierbei kann redundante Information durch Bildung von Superzeichen bzw. Schemata höherer Ordnung reduziert werden. Dabei findet eine Reduktion irrelevanter Information statt (Hussy, 1984; Simon, 1990; Funke, 2003). Hierbei spielt aber nicht nur die Anzahl der Variablen eine Rolle, sondern ebenso sehr ihre Beziehungen, die isoliert als Vernetztheit berücksichtigt werden.

■ Vernetztheit

In der Vernetztheit bilden sich Beziehungen von Variablen untereinander ab. Diese Beziehungen stellen eine Abhängigkeit oder Unabhängigkeit zwischen Variablen dar. Die einfachste Beziehung kann daher dichotom als positiv oder negativ bezeichnet werden. Diese einfachste Relation unterscheidet sich von komplexeren Relationen, die eine spezielle Wirkrichtung und Stärke von Verbindungen abbilden (► Abschn. 2.3.2). Die Stärke einer negativen Relation kann demnach auch als Hemmung bezeichnet werden (Pospeschill, 2004). Die kognitive Leistung, die hierbei von der Person verlangt wird, ist als „Modellbildung“ zu bezeichnen. Modelle bilden eine besondere Herausforderung, da sie oftmals die Kapazität der AG-Struktur übersteigen. Ein finiter Automat bietet sich in unseren Augen als geeignetes Konstrukt an, kognitive Modelle von vernetzten Variablen abzubilden (► Abschn. 4.2.3). Da sich große Modelle im AG und LZG befinden, ist es wichtig, das humankybernetische Informationsmaß wieder aufzugreifen, da es aktuell-aktive Informationen im AG in ihrem Zusammenhang mit den dahinterliegenden potenziell-aktiven Informationen im LZG betrachtet (► Abschn. 4.2.1). In unseren Augen ist dieses Maß geeignet, bestimmten Elementen eines Modells ein individuelles Gewicht an Information zuzuschreiben. Beziehungen drücken sich letztlich erst aus, wenn sich die Vernetztheit in einer Dynamik befindet oder eine Dynamik durch einen Organismus an sie herangeführt wird. Diesem Konstrukt wenden wir uns nun zu.

■ Dynamik

Die Eigenschaft der Dynamik gilt als eines der Hauptmerkmale komplexer Probleme (Hussy, 1998; Leutner, 2002; Funke, 2003). Sie bringt den Faktor Zeit in das System (Funke, 2003). Dynamische Systeme lassen sich in diskrete und kontinuierliche dynamische Systeme aufteilen



■ **Abb. 4.21** Diagramm zur Darstellung komplexen Problemlösens. Die Problemschwierigkeit ergibt sich aus den Eigenschaften des Mediums, der Situation und der Person. Ein Medium, das die Eigenschaften der Komplexität erfüllt, kann als System bezeichnet werden

(► Abschn. 2.3.3). Kontinuierliche Systeme weisen eine vollständige Eigendynamik auf. In diesem Punkt sehen wir den größten Unterschied zu den statisch-analytischen Problemen, die ihre Aktivität erst durch die Person erhalten. Eigendynamische Probleme geben uns daher auch den Anlass, Problemlösen kognitivistisch zu betrachten und von einem äußeren System innerhalb eines Mediums mit Informationsfluss auszugehen. Bezüglich der notwendigen kognitiven Prozesse in Problemen mit Eigendynamik haben wir die Differenzierung zwischen Antizipation und Prognose getroffen (► Abschn. 4.3.1). Liegt einer Person ein vollständiges Modell des Systems vor, können die Ergebnisse von dynamischen Prozessen mittels Antizipation vorweggenommen werden. Besteht hinsichtlich der Dynamik des Systems noch Unsicherheit im Modell, es fehlt also Information, so bezeichnen wir die kognitive Anforderung an die Person als Prognose. Das Fehlen der Information im Modell kann als Intransparenz bezeichnet werden, der wir uns nun zuwenden.

■ Intransparenz

Der für uns wesentlichste Punkt eines Problems ist die Intransparenz. Wir betrachten Interpolationsprobleme, in denen keine Intransparenz vorliegt, daher auch als Zwischenstadium zwischen einem vollständigen Problem und einer Aufgabe. Intransparenz ist für uns synonym zu betrachten mit Unschärfe, sodass vollständige Transparenz den höchsten Grad an Schärfe besitzen würde, der potenziell möglich ist. Das Konstrukt ersetzt daher den traditionellen Begriff der Barriere. Die Intransparenz kann sich also sowohl auf die Operatoren beziehen als aber auch auf die Unterziele oder das Ziel. Bezieht sich die Intransparenz auf Ziele, so bezeichnen wir dies als Polytelie (Funke, 2003), die wir abschließend als fünfte Eigenschaft komplexer Probleme gesondert betrachten wollen. Der Umgang mit Intransparenz verlangt die Generierung von Information (Funke, 2003). Im Zusammenhang mit dem Problemlösen in komplexen Systemen ist dieser Bereich der kognitiven Fähigkeiten von Dörner als „operative Intelligenz“ (Dörner, 1986, S. 290) bezeichnet worden. Wir haben die funktionale Information von der pragmatischen Information differenziert. Insofern stellt dieser Schritt der Transformation letztlich die Erzeugung eines neuen Codes dar, den wir als operativ-modulierten Code bezeichnet haben. Die Frage nach einem neuen Typen der Intelligenz ist in diesem Feld bislang noch nicht hinlänglich beantwortet und steht noch immer zur Diskussion: „The result of the present studies indicates that there is no need to postulate a new type of intelligence which is needed to manage complex dynamical systems.“ (Leutner, 2002, S. 695). Es wird allerdings von Leutner angeregt, dass Forschungsinstrumente gerade der Konzeption von explorativen Phasen im Design folgen sollten (Leutner, 2002). In der Frage nach der kognitiven Kompetenz in komplexen Systemen gab es schon früh von Hussy (1985) Anregungen zur systematischen Betrachtung:

- » Außerdem darf die Entwicklung nicht in der Weise fortschreiten, daß computersimulierte Systeme immer größerer Komplexität zur Anwendung gelangen, sondern es muß einen Wandel in Richtung systematischen Experimentierens eintreten, um überhaupt Erkenntnisse darüber gewinnen zu können, inwiefern sich kognitive Prozesse bei der Bearbeitung komplexer Situationen von solchen wenig komplexer Situationen unterscheiden. (Hussy, 1985, S. 72)

Bezüglich der Frage nach der kognitiven Kompetenz in komplexen Systemen gilt es daher, Szenarien zu verwirklichen, die zum einen innerhalb eines Paradigmas bleiben, zum anderen dieses Paradigma systematisch nach den Eigenschaften komplexer Probleme erweitern. Die Beobachtung der Versuchspersonen (VP) während der Reduktion von Intransparenz sollte dabei in den Vordergrund rücken und für den Versuchsleiter (VL) hoch transparent sein.

■ Polytelie

Die Polytelie bezeichnet eine potenzielle Vielzieligkeit von Situationen. Man kann einerseits sagen, dass das eigentliche Ziel noch intransparent ist (Funke, 2003), dies würden wir auch als dialektische Barriere bezeichnen (► Abschn. 2.2). Andererseits können bereits einige Ziele transparent vorliegen und diese müssen gegeneinander abgewägt werden. Hier spielt der Bewertungsprozess eine große Rolle. Dieser Bewertungsprozess kann zunächst einer rein rationalen Logik folgen und könnte anschließend ein eindeutiges Ziel berechnen, dann befände sich das Ziel im rationalen Bereich des Individuums. Dies ist oft der Fall, wenn sich die Polytelie auf Unterziele bezieht. In ► Abschn. 4.1.3 haben wir diesen Prozess bereits als Valenzierung kennengelernt. Betrifft die Vielzieligkeit hingegen ein offenes Hauptziel, liegt also eine dialektische Barriere vor, so wird die kulturelle Frage von größerer Bedeutung, es entsteht eine Wertefrage auf einer höheren kulturellen Codeebene und somit möglicherweise ein Wertekonflikt. Dann ist ein rein rationales Entscheiden oft nicht mehr möglich und es sind kleine Verstöße gegen Kriterien für ein Vorschreiten notwendig; diese werden als Relaxationen (► Abschn. 4.1.3) bezeichnet. Als zentraler kognitiver Prozess lässt sich also die Evaluation herausstellen, die entweder auf einer rein rationalen Basis beruht oder in einem höheren kulturellen Bereich die reine Ratio zunächst an eine kulturelle Heuristik, wie etwa einem bestimmten philosophischen Paradigma, abgeben muss. Bei Whitehead (2001) werden diese beiden Bereiche wie folgt beschrieben:

» Aber Zivilisation ist mehr als all das, und in ihrem moralischen Wert kann sie weniger als all das sein. Zivilisierte Wesen sind diejenigen, welche die Welt mit einer gewissen weiten Allgemeinheit des Verstehens überblicken. ... Es gibt zwei kontrastierende Begriffe, die unbezweifelbar aller Weite der Erfahrung zugrunde zu liegen scheinen. Einer davon ist der Begriff der Bedeutsamkeit, der Sinn von Bedeutsamkeit, die Voraussetzung von Bedeutsamkeit. Der andere ist der der Tatsache. Es gibt kein Entkommen aus den nackten Tatsachen. Sie sind die Grundlage für Bedeutsamkeit; und Bedeutsamkeit ist aufgrund des unentrinnbaren Charakters der Tatsächlichen von Bedeutung. Wir konzentrieren uns infolge eines Gefühls für Bedeutsamkeit. Und wenn wir uns konzentrieren, dann schenken wir den Tatsachen Aufmerksamkeit. ... Die beiden Begriffe sind sowohl widersprüchlich als auch aufeinander angewiesen. (Whitehead, 2001, S. 48f.)

Die von uns benannte kulturelle Heuristik bezeichnet Whitehead (2001) also als Bedeutsamkeit, die über den Bereich des Rationalen hinaus, die Aufmerksamkeit der Person über ein Gefühl zu lenken scheint, das erst durch die Zivilisation in einem Individuum angelegt ist. Die Polytelie ist aufgrund der Verwobenheit von hohen zivilisatorischen Codes und biologischen Codes in unseren Augen die schwierigste Eigenschaft komplexer Systeme.

Nachdem wir nun die Eigenschaften komplexer Probleme im Zusammenhang mit den jeweiligen kognitiven Prozessen im Einzelnen betrachtet haben, wollen wir abschließend die dazugehörige ■ Tab. 4.3 betrachten. Diese Tabelle bildet in unseren Augen eine geeignete Basis, um die von Hussy (1985) angeregte systematische Untersuchung komplexer Systeme vorzunehmen.

Zusammenfassung

Das vierte Kapitel hat in einem letzten Schritt die Konstrukte des Problems (► Kap. 2) und der kognitiven Architektur (► Kap. 3) im Konstrukt der Situation zusammengeführt. An dieser Stelle konnte der tatsächliche Blick auf ein Problem entstehen. Daher zeigt sich, dass das Konstrukt des Problems aus ► Kap. 2 im Grunde als Medium, in dem ein System eingebettet ist, bezeichnet werden muss. Ein vollständiges Konstrukt eines Problems ergibt sich erst aus der Zusammenführung eines Mediums und einer Person in einer Situation. Durch diese sind zwei Eigenschaften

■ **Tab. 4.3** Die Reihenfolge der Eigenschaften steigt mit der Komplexität der zugehörigen kognitiven Prozesse von oben nach unten an. (Nach Funke, 2003).

		Kognitive Prozesse
Eigenschaften des Mediums	Anzahl der Variablen	Effiziente Enkodierung
	Vernetztheit	Modellbildung
	Dynamik (Zeitdiskrete Dynamik und Eigendynamik)	Antizipation/Prognose
Eigenschaften der Situation	Intransparenz	Operative Generierung von Code
	Polytelie	Evaluation

hinzugekommen, die Intransparenz und die Polytelie. Die Intransparenz kann als Barriere verstanden werden und wird durch problemlösendes Denken aufgehoben. Durch problemlösendes Denken entsteht in einem ersten Schritt ein Problemraum, diese Raumgenese wird als Lokalisation bezeichnet. Der Problemraum wird mittels Heuristiken in einen Planungsraum überführt, was als Informationsverarbeitung aufgefasst wird, bei der ein neuer Code entsteht. Da Probleme sowohl bewusst als auch nichtbewusstseinspflichtig gelöst werden, wurde zwischen funktionaler Information und einem biologischen Code und pragmatischer Information und einem kulturellen Code unterschieden. Bewusstes Problemlösen vollzieht sich über die Aufmerksamkeit, die entweder mittels Vorwissen durch den Organismus oder bei Nichtwissen über das Medium bzw. die Umwelt gesteuert wird. Hieraus ergibt sich im Unterschied zu einer TOTE-Einheit in einem Planungsraum eine LE²BE-Einheit in einem Problemraum. Im Problemraum ist eine Operatorkette unvollständig und muss durch den Prozess der Exploration vervollständigt werden. Da für die Exploration ebenfalls Operatoren notwendig sind und alle Operatoren mit Indifferenzen umgehen, kann im Falle eines Nichtwissens die Indifferenz nicht aus einem rationalen Akt entstehen, sondern muss zunächst aus einem emotionalen Prozess hervorgehen. Hierzu ist das Konzept der Evaluatoren bzw. somatischen Marker aufgeführt worden. Durch problemlösendes Denken entsteht eine Operatorkette zwischen somatischen Markern, die als Episode bezeichnet wird. Sie entsteht innerhalb des Arbeitsgedächtnisses aus dem Zusammenspiel zwischen Aufmerksamkeit und dem episodischen Buffer. Durch neu entstehende Operatorketten erweitert sich der rationale Raum. Es wird davon ausgegangen, dass aus problemlösendem Denken letztlich Modelle entstehen, die über die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses weit hinausgehen und sich mithilfe von finiten Automaten modellieren lassen. Um den Informationsgehalt innerhalb der Arbeitsgedächtnisstruktur im Zusammenhang mit diesen Modellen besser abbilden zu können, hat das Konzept des humankybernetischen Informationsmaßes wieder an Bedeutung gewonnen. Vollständige Modelle führen einen Organismus zur Kompetenz der Antizipation, die letztlich eine Form der Planung ist. Der vollständige rationale Raum, der Planungsraum, wird als epistemische Struktur verstanden, die aus operativ-modulierten Strukturen besteht.

Epilog

Wir wollen in einem letzten Kapitel zur Frage von Hussy (1985), „inwiefern sich kognitive Prozesse bei der Bearbeitung komplexer Situationen von solchen wenig komplexer Situationen unterscheiden“ (Hussy, 1985, S. 72), noch einmal unser Gedächtnismodell differenzierter in den Blick nehmen.

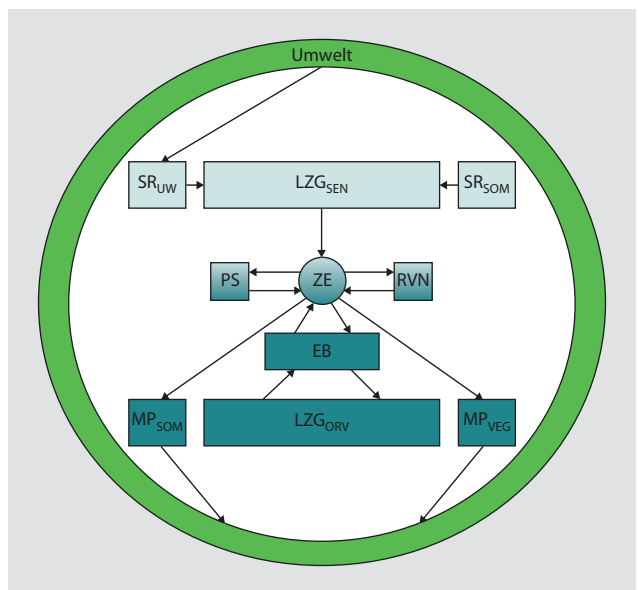
Schon Mitte der 1980er-Jahre ist in Hinsicht auf immer komplexer werdende Computersimulationen ein Wandel in Richtung systematischen Experimentierens eingefordert worden (► Abschn. 4.4). Und noch 2006 hat Funke (2006) darauf hingewiesen, dass eine übergreifende Kognitionstheorie den Umgang mit allen Problemen beschreiben und erklären sollte (Funke, 2006). Die kognitive Psychologie steht an dieser Stelle nicht nur vor der Herausforderung die „Interrelation von Einfachheit und Komplexität“ (Schönwälder-Kuntze, Wille & Hölscher, 2009, S. 20) zu beschreiben, sondern in ihren weiteren Untersuchungen stufenweise anzuwenden. In der vorliegenden Arbeit ist zunächst eine Perspektive auf die kognitive Architektur entwickelt worden, die uns ein heuristisches Modell für die Zusammenhänge der wesentlichen Prozesse der Genese einer epistemischen Struktur durch problemlösende Prozesse zur Seite stellt (► Abschn. 4.3.2). Dieses Modell führt uns ■ Abb. 5.1 noch einmal vor Augen.

Ein systematisches Experimentieren wird nun unter den von Funke (2003) zusammengeführten zentralen Prozessen des problemlösenden Denkens möglich und kann zu einem Stufenmodell des menschlichen Problemlösens führen. In diesem Zusammenhang greift ■ Tab. 4.3 noch einmal die Prozesse während des Problemlösens auf (► Abschn. 4.4). Zudem werden dieser Tabelle die von uns als notwendig herausgestellten Prozesse der „Lokalisation“, der „Extrapolation“ und der „Interpolation“ den entsprechenden Eigenschaften der Situation hinzugefügt, die als „Historizität“ und als „Teleologie“ zu bezeichnen sind. Dies bedeutet, dass jede aktuelle Situation, die eine Person erlebt, einer Historizität gefolgt ist.

■ Historizität

Historizität kann als situationsdefinierend betrachtet werden, die Operation der Situationsausdifferenzierung bezeichnen wir als Lokalisation. Hierbei wird an Vorwissen angeknüpft. Dieses Vorwissen kann nun in die aktuelle Situation extrapoliert und zur Anwendung weiter interpoliert werden. Reicht dieses Vorwissen allerdings für eine bewusste Handlung nicht aus, so müsste es

■ Abb. 5.1 Die Sicht auf problemlösendes Denken führt uns zu den zentralen Prozessen zwischen Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis. LZG_{SEN} Langzeitgedächtnis, sensorisch, LZG_{ORV} Langzeitgedächtnis, operativ, MP_{VEG} Motorisches Programm, vegetativ SR_{SOM} sensorisches Register, somatisch, SR_{UW} sensorisches Register, Umwelt



■ **Tab. 5.1** Die Reihenfolge der Eigenschaften steigt mit der Komplexität der zugehörigen kognitiven Prozesse von oben nach unten an. Der bisherigen Tabelle (► [Kap. 4](#)) sind notwendigen Prozesse hinzugefügt worden. (Nach Funke, 2003)

		Kognitive Prozesse
Eigenschaften des Mediums	Anzahl der Variablen	Effiziente Enkodierung
	Vernetztheit	Modellbildung
	Dynamik (Zeitdiskrete Dynamik und Eigendynamik)	Antizipation/Prognose
Eigenschaften der Situation	Historizität	Lokalisation
	Teleologie	Extrapolation und Interpolation
	Intransparenz	Operative Generierung von Code
	Polytelie	Evaluation

zu einem reinen Trial-and-Error-Verhalten kommen, das wir nicht als problemlösendes Verhalten bezeichnen würden. Sobald dieses reine Trial-and-Error-Verhalten aber mindestens dem Ziel folgt, Fehler als solche zu erkennen und anschließend eine Wiederholung dieser Fehler zu vermeiden, tritt eine zielführende Selektivität auf, die als Teleologie bezeichnet wird. Aus diesen Prozessen heraus entsteht nun ein sich optimierender Ablauf von Operationen, den wir als operative Generierung von Code bezeichnet haben. Diese gezielte Aktivität der Störungsreduktion löst somit die Intransparenz einer Situation immer weiter auf.

Es ist zu erkennen, dass sich in ■ [Tab. 5.1](#) die maßgeblichen Prozesse des einfachen und komplexen Problemlösens vereinen. Erst wenn das Wissen der Person nicht mehr zur Interpolation ausreicht, ist es entweder notwendig, dass die Person instruiert wird oder aber durch problemlösendes Denken diese Information aktiv generiert. Diese operative Generierung von Code ist als Prozess der Exploration im erweiterten Paradigma einer Instruktion gegenübergestellt worden.

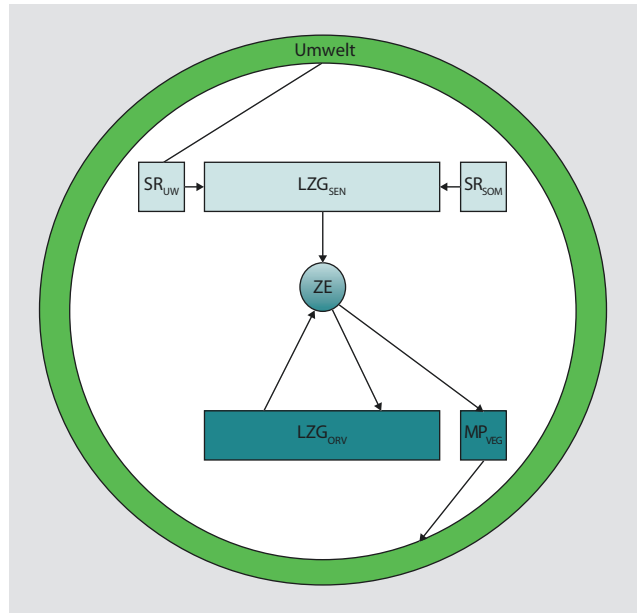
■ Äquilibrium

Vorwissen entscheidet in einer Situation, ob sich eine Person vor einem Problem, vor einer Aufgabe oder gar vor einer bereits automatisierten Routine befindet. Auch komplexe Probleme bzw. die strukturelle Information komplexer Systeme können in vollständige Schemata und in eine Routine überführt und somit prozeduralisiert werden. Wir haben eine solche prozeduralisierte Form der Information in ► [Abschn. 4.2](#) als pragmatische Information kennengelernt. Für eine Automation ist eine vollständige Kongruenz im Code zwischen der strukturellen Information und der pragmatischen Information notwendig. Diesen Code haben wir als funktionale Information bezeichnet, die in gewisser Weise das relevante Vorwissen bezeichnet. Solange keine Abweichungen innerhalb dieses Codes vorliegen, befindet sich das Individuum in einem Zustand, der als Äquilibrium bezeichnet werden kann. Den Zustand des Äquilibriums bildet ■ [Abb. 5.2](#) in der kognitiven Architektur ab.

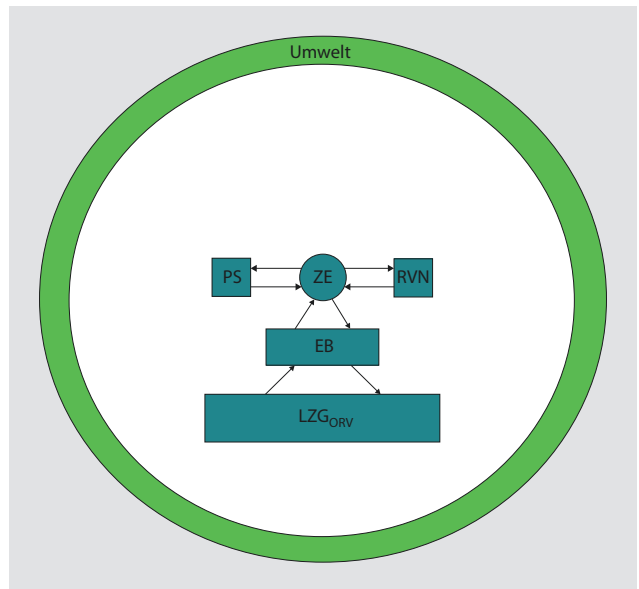
■ Extrapolation

Eine Extrapolation steht für die Entfaltung von Vorwissen aus dem LZG, indem dieses für das AG zugänglich wird. Dieser Prozess ist vorerst nicht von aktuellen Informationen der Umwelt abhängig. Die Extrapolation endet erst, wenn die Informationen aus dem LZG nicht mehr ausreichen, also ein Disäquilibrium entsteht. An dieser Stelle ist neue Information aus der Umwelt zu generieren. Dies kann entweder durch Instruktion geschehen oder im komplexen

■ **Abb. 5.2** Ein Äquilibrium bedeutet, dass eine völlige Deckungsgleichheit zwischen der aktuellen Information aus der Umwelt und der Information im Individuum vorliegt. LZG_{SEN} Langzeitgedächtnis, sensorisch, LZG_{ORV} Langzeitgedächtnis, operativ, MP_{VEG} Motorisches Programm, vegetativ, SR_{SOM} sensorisches Register, somatisch, SR_{UW} sensorisches Register, Umwelt, ZE zentrale Exekutive



■ **Abb. 5.3** Zu sehen ist die kognitive Architektur während der Extrapolation von Informationen aus dem LZG. Ein Informationszufluss aus der Umwelt ist in diesem Prozess nicht notwendig. EB episodischer Buffer, LZG_{ORV} Langzeitgedächtnis, operativ, PS phonologische Schleife, RVN räumlich-visuellen Notizblock, ZE zentrale Exekutive



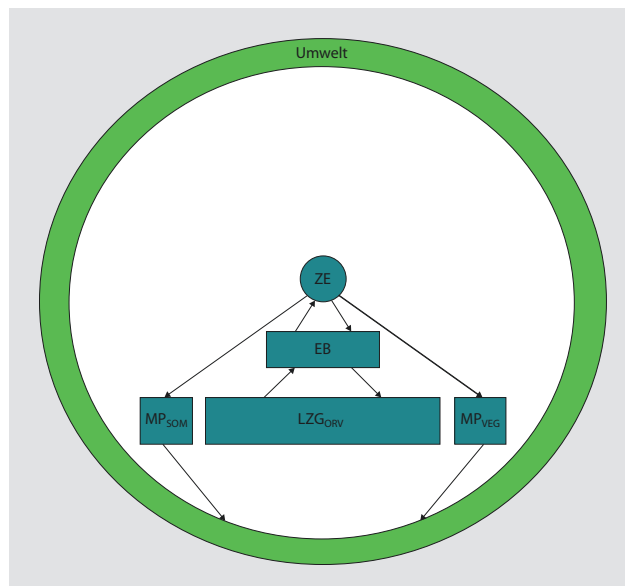
Problemlösen durch den aktiven Prozess der Exploration. Diese Phase der Extrapolation wird in [Abb. 5.3](#) noch einmal kenntlich innerhalb der kognitiven Architektur dargestellt.

■ Disäquilibrium

Vorwissen ist erst als Vorwissen zu betrachten, wenn es konsolidiert im LZG vorliegt. Eine Abweichung im Code zwischen struktureller und pragmatischer Information macht eine Erweiterung oder Modifikation des funktionalen Codes notwendig. Diese Abweichung stellt nunmehr das Problem bzw. die Barriere dar. Die Architektur gerät in den Zustand des Disäquilibriums. Wird in

einem Paradigma zum Problemlösen das individuelle Vorwissen mit in die Betrachtung aufgenommen, sollte versucht werden, dieses von nichtkonsolidierter Information zu trennen, die auch als spekulative Vermutungen oder als Hypothesen bezeichnet werden könnte. Dies kann z. B. durch eine doppelte Abfrage von Vorwissen erreicht werden. Sich widersprechende Äußerungen von Probanden können als paradox bezeichnet werden und gelten als unsicherer Bereich, in dem Information noch nicht konsolidiert vorliegt. Einen Code, der vollständig kongruent zur strukturellen Information des Systems ist, wollen wir als vollständiges Systemwissen bezeichnen. Den Kern des komplexen Problemlösens bildet nun die Phase der Exploration, da sich in dieser Phase die operative Generierung von Code vollzieht. Diese Generierung von Code bedeutet, dass entweder ein völlig neuer Code aufgebaut oder ein vorhandener Code, den wir als Vorwissen bezeichnen, modifiziert werden muss. Lediglich im Falle einer vollständigen Kongruenz des Vorwissens findet in diesem Sinne keine weitere Informationsverarbeitung statt und der vorhandene Code bleibt bestehen, denn es liegt schon im Vorfeld keine Barriere vor. Weicht ein vorhandener Code hingegen vom Systemwissen ab, so müssen die inkongruenten Stellen modifiziert werden. Eine solche Modifikation ist notwendig, um das aktuelle Problem zu lösen. Die Modifikation des Codes kann entweder lediglich von temporärer oder von längerfristiger Notwendigkeit sein. In beiden Fällen muss die funktionale Information des LZG modifiziert werden. Dies geschieht im bewusstseinspflichtigen Problemlösen über die semantische Funktion (► Abschn. 3.2.2). Erzeugt eine Barriere problemlösendes Denken, so entsteht in der Person bewusst der Problemraum, den wir als semantische Information bezeichnen können. Wird der Problemraum in einen handlungsrelevanten Planungsraum überführt, so liegt dieser in unseren Augen in einer Struktur zwischen Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis. Wir haben bereits in ► Kap. 4 die Notwendigkeit eines Fast-learning-Systems für den Fall thematisiert, dass eine gewisse Informationsmenge vorerst temporär notwendig ist. In unseren Augen spielt daher die Struktur des Episodic Buffers (EB) als Interface zwischen AG und LZG eine große Rolle und kann als Fast-learning-System verstanden werden. Denn kurzfristig modifizierte Information ist weder im LZG konsolidiert, noch wird sie permanent in den Sklavensystemen des AG aufrechterhalten. Ein kurzfristiges Unterdrücken oder Verändern von abweichender Information des LZG könnte daher durch die Struktur des Episodic Buffers vorgenommen werden. In ► Abb. 5.4 wird diese Situation innerhalb der kognitiven Architektur dargestellt.

■ **Abb. 5.4** Dem Episodic Buffer (EB) wird die kurzfristige Veränderung von Code zugeschrieben. LZG_{ORV} Langzeitgedächtnis, operativ, MP_{SOM} Motorisches Programm, somatisch, MP_{VEG} Motorisches Programm, vegetativ, ZE zentrale Exekutive



Die Menge an Information übersteigt in komplexen Problemen die Kapazität der Sklavensysteme des AG. Während des Problemlösens ist es oftmals sinnlos, die Informationen durch ein Training oder spezielle Lernstrategien auf eine Konsolidierung hin aufzuarbeiten, da sie lediglich von temporärem Wert sind. Wir schreiben der Struktur des EB die Eigenschaften zu, eine größere Menge an Informationen bereitzuhalten als die Subkomponenten der phonologischen Schleife (PS) und dem räumlich-visuellen Notizblock (RVN). Für den Prozess des Problemlösens erscheint sie daher als essenziell. Bislang sind allerdings keine Instrumente entwickelt worden, eine solche Struktur genauer in den Blick zu nehmen. Ein Paradigma zur Betrachtung einer solchen Struktur sollte einen eindeutigen Code aufweisen, der in seiner Größe die Kapazität des AG übersteigt. Zudem müsste ein solches Paradigma in der Lage sein, den vorhandenen Code im Vorwissen des Probanden in seiner Relation zum Systemwissen zu betrachten. Das problemlösende Verhalten des Probanden sollte daraufhin analysiert werden, ob es sich am Vorwissen oder am Systemwissen orientiert. Dazu ist es notwendig, das Wissen des Probanden nicht nur vor der Exploration zu kontrollieren, sondern ebenfalls das modifizierte Vorwissen nach der Phase der Exploration, das nun als Systemwissen bezeichnet wird, vollständig in den Blick zu nehmen. Die Analyse der Phase der Wissensanwendung hat anschließend daher die Aufgabe, beide Codes zu berücksichtigen. Eine stärkere Inkongruenz von Vorwissen würde eine stärkere Beanspruchung eines Fast-learning-Systems während der Wissensanwendung bedeuten. Je weniger kongruentes Vorwissen eine Person hat, desto mehr relevante Information muss sie entweder erlernen und trainieren oder aber in einer Fast-learning-Struktur verfügbar haben.

■ Exploration

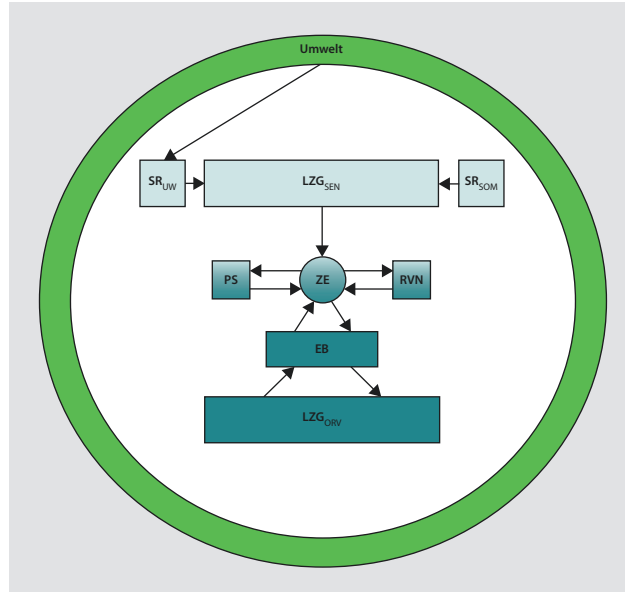
Die Exploration stellt den heuristischen Suchprozess dar, dessen Heuristiken sich aus der vorherigen Extrapolation ergeben. Hat die vorherige Extrapolation tiefe Informationen aus dem LZG durchdrungen, z. B. solche, die durch Transferleistungen aus kontextfernen Systemen entstehen, so kann von einer „Wissens-Orientierung“ gesprochen werden. Ist hingegen die vorhergehende Extrapolation nicht tiefer an das individuelle Vorwissen der Person angelehnt, so orientiert sich das lösungssuchende Verhalten der Person vielmehr an den Eigenschaften des Mediums selbst. Hierbei ist die Phase der Extrapolation also jeweils kürzer. Dies sollte als „Medium-Orientierung“ bezeichnet werden. Bei Chomsky (1973) werden diese zu durchlaufenden Ebenen als „Oberflächenstruktur ... und ... Tiefenstruktur“ (Chomsky, 1973, S. 52) bezeichnet. Der Informationsfluss aus der Umwelt spielt hierbei eine große Rolle. Diese Phase stellt ■ Abb. 5.5 dar.

Dieser Prozess zeigt, dass Exploration immer dann stattfindet, wenn eine Extrapolation nicht weiter möglich ist und die Grenze des Wissens erreicht wird. Erst wenn die Person das Ergebnis ihrer Exploration beobachtet und auswertet, kann es zu einer Schemaerweiterung, also zur Erweiterung des Wissens, kommen. Ist ein Schema vollständig, wird eine Exploration nicht mehr notwendig, da auch keine Barrieren mehr vorhanden sind. Das Medium ist in diesem Fall gänzlich internalisiert worden und kann in der Person extrapoliert werden, ohne dass hierbei eine Rückkopplung mit der Umwelt gegeben sein müsste (Schmidt, 1987, 2005). Orientierung bedeutet somit immer Selektivität, die sich im suchenden Verhalten als Systematik zeigt. Lediglich die reinste Form des Trial-and-Error-Verhaltens kann als unsystematisches Verhalten bezeichnet werden. Für uns bedeutet dies, dass generell drei Grundformen der Exploration identifizierbar sind:

1. die Exploration mit systematischer Vorwissens-Orientierung,
2. die Exploration mit systematischer Mediums-Orientierung und
3. die Exploration mit unsystematischem Trial-and-Error-Verhalten.

Selbstverständlich sind Variationen dieser Grundformen denkbar, zudem muss die Phase der Exploration nicht gänzlich einer Grundform folgen. Vielmehr sind die Übergänge als fließend

■ **Abb. 5.5** Die Exploration ist auf Rückkopplungen aus der Umwelt angewiesen. *EB* episodischer Buffer, *LZG_{SEN}* Langzeitgedächtnis, sensorisch, *LZG_{ORV}* Langzeitgedächtnis, operativ, *PS* phonologische Schleife, *RVN* räumlich-visuellen Notizblock, *SR_{SOM}* sensorisches Register, somatisch, *SR_{UW}* sensorisches Register, Umwelt, *ZE* zentrale Exekutive



zu betrachten. Paradigmata zur Betrachtung komplexen Problemlösens stehen daher vor der Herausforderung, Systematiken des explorierenden Verhaltens genau zu analysieren und hierzu das relevante Vorwissen der Probanden aufzunehmen und zu kontrollieren. Vorwissen kann im Vorfeld einer Phase zur Exploration in einer Phase der Vorwissensabfrage gewonnen werden. In Hinsicht auf die drei Grundformen der Exploration, kann die Exploration mit systematischer Vorwissens-Orientierung als die höchste Form der Exploration bezeichnet werden. Generell gilt ein systematisches Vorgehen gegenüber einem unsystematischen Vorgehen als überlegen. Es kann z. B. davon ausgegangen werden, dass im Kindesalter eine Entwicklung des problemlösenden Denkens vom unsystematischen Trail-and-Error-Verhalten über die systematische Mediums-Orientierung zur Vorwissens-Orientierung hin stattfindet (Dörner, 1979; Siegler, 2001). Die Medien in der Umwelt werden durch das Problemlösen auf ein immer höheres Auflösungsniveau der Repräsentation gebracht, bis hin zur vollständigen Internalisierung. Mit der anwachsenden Selektivität der Explorationsstrategien entstehen daher exaktere Modelle, die zu besseren Leistungen im anschließenden Problemlösen führen können.

■ Polytelie

Die Polytelie darf als das wohl schwierigste Konstrukt der Problemlöseforschung bezeichnet werden. Die mit diesem Begriff gemeinte Form der Vielzieligkeit konnte in den vorliegenden Ausführungen keinen Eingang finden, da sie den Zustand eines offenen Oberziels beschreibt, der im Paradigma nicht verwendet wird. Das selbstständige Definieren von Oberzielen führt bei der Verwendung von rein rationalen Prozessen oftmals zum Konflikt zwischen gleichwertigen Zielen. Die Beeinflussung durch moralische und ethische Werte mag in diesem Prozess am stärksten vorhanden sein, was letztlich zum Konzept eines vernünftigen Handelns führen sollte. Zur Vernunft bietet sich in Hinsicht auf rationales Vorgehen die Erwähnung von folgendem Passus nach Höhle (1992) an: „So können die grundlegenden Prinzipien der Vernunft sicher nicht bewiesen werden, ohne immer schon vorausgesetzt zu werden, denn ohne sie macht der Begriff des Beweises keinen Sinn.“ (Höhle, 1992, S.32). Die Operationalisierung stellt hier eine große Herausforderung dar. Es wäre diskussionswürdig, wie valide eine Ableitung aus Zielverhandlungen im kooperativen

Problemlösen sein könnten, da davon ausgegangen werden darf, dass moralische und ethische Konflikte eine Quelle dieser Prozesse darstellen. Das Zitat nach Höhle führt uns noch einmal zu einem letzten Punkt, die Prinzipien der Vernunft scheinen die Grundlage des Sinns zu sein, wir betrachten noch einmal die Semantik.

■ Semantik

Die Problematik, den Einfluss von Semantik auf den Problemlöseprozess zu messen, ist bereits umfangreich diskutiert worden. Die Frage nach der Kapazität eines episodischen Buffers stellt uns unmittelbar vor die Notwendigkeit, der zu verarbeitenden Information eine Informationsschwere zuzurechnen, die sich aus dem jeweiligen semantischen Kontext ergibt. Die von uns verwendete Systematik scheint zunächst den Ansprüchen einer empirischen Semantik sehr nahe zu kommen, wie sie von Köck (1987) eingefordert werden:

- » Es scheint mir vielmehr fruchtbar zu sein, einmal die bio-anthropologische Kognitionsforschung aufzuarbeiten, soweit sie zu kognitiven Prozessen und Systemen Daten und Instrumentarien der Forschung liefert, zum anderen versucht, 'operative' Arbeitstechniken nicht-verbaler Art zu entwickeln, um 'Bedeutungen' bzw. Systeme von Bedeutungen nicht nur beschreiben, sondern 'repräsentieren' zu können und ihnen Zeichen als künstliche Repräsentanten zuzuordnen, so daß die Semantik von Zeichen nicht nur aus Zeichen alleine besteht, sondern aus Zeichen, Zuordnungsregeln und 'Bedeutetem' (bzw. nicht-sprachlichem 'Abbild' von 'Bedeutetem'). (Köck, 1987, S. 362).

Wir konnten mit unserem verwendeten Paradigma Zuordnungsregeln repräsentieren und den Einfluss des Bedeuteten aufzeigen. Um Items konstruieren zu können gilt es, weitere Zuordnungsregeln und „Bedeutetes“ ausfindig zu machen. Eine Ausdifferenzierung von semantischen Kontexten in potenzielle „Wirklichkeitssemantiken“ (Schmidt, 1987, S. 457) sollte für die weitere Betrachtung des episodischen Buffers angegangen werden, um auf diesem Wege unterschiedliche Informationsgewichte von Items zu gewinnen. Für das Erwachsenenalter sind hierzu in der Vergangenheit Bereiche der Kultur, der Politik, der Ökonomie und der Ökologie zur Einbettung problemisomorpher komplexer Systeme verwendet worden. Eine systematische Untersuchung von semantischen Räumen, die den Anspruch auf eine ökologische Validität formulieren, wäre für das Kindesalter ebenso als erstrebenswert zu betrachten. Die Problematik der Messung von semantischer Information ist umfangreich belegt. So ist bei Kay (2005) folgender Satz zu lesen:

- » Weaver hatte sogar das Gefühl, daß Information und Bedeutung als obligatorisches Variablenpaar zusammengehörten, vergleichbar Heisenbergs Unschärferelation, wonach man gezwungen wäre, die eine zu opfern, wenn man viel von der anderen haben wollte. (Kay, 2005, S. 142)

Unsere Sicht auf die Information folgt nicht dem Nachrichtentechnischen Ansatz, sondern orientiert sich am konstruktivistischen Verständnis der Information. Es wäre nicht zu dieser Sicht passend, wenn der anvisierte Lösungsvorschlag zum semantischen Problem von statischer Natur wäre; vielmehr ist die Lösung in dieser Perspektive eine generative. So schließen wir uns bzgl. der Erarbeitung einer empirischen Semantik Köck (1987) an:

- » Auch eine empirische Semantik in einem solchen absolutistischen Sinn kann daher nur eine idealtypische Projektion sein, die in ihren Ergebnissen ihre praktische Adäquatheit fortwährend zu erweisen hat. ... Wie im Vorangegangenen zumindest in einigen Aspekten

angedeutet wurde, kann diese notwendigerweise primär „operative“ Tätigkeit nicht von den Zeichen, von der Signalsemiotik ausgehen oder nur mit Zeichen arbeiten, sondern nur vom individuellen Konstruktionsprozeß, der all das umfaßt, was als „Bedeutungsbildung“ oder „Bedeutungsgebrauch“ bezeichnet werden kann. Die „Bedingung der Möglichkeit“ aller Kommunikation ist eine durch historisch (diachron und synchron) variierende Kodes geregelte Semantik, die ihrerseits in den jeweiligen individualspezifischen Kognitionsprozeß eingebettet bzw. dadurch in jeder Hinsicht bedingt und geprägt ist. (Köck, 1987, S. 371)

Semantik ist demnach für Köck kein statisches Gebilde, sondern schon unmittelbar in die Bedeutungsbildung verwoben. Der Passus erschließt sich erst vollständig, wenn man das Verständnis Köcks bzgl. der Kommunikation hinzunimmt: „Überall dort, wo kein Kode und somit kein Zeichen zwischen realen Interaktionen oder an ihre Stelle tritt, ist eben von ‚Interaktion‘ und nicht von ‚Kommunikation‘ zusehen“ (Köck, 1987, S. 379). Diese Sicht erlaubt es uns abschließend, im Akt des bewussten Problemlösens einen Kommunikationsprozess zwischen einem Individuum, mit den ihm zur Verfügung stehenden Medien des Denkens, und seiner Umwelt zu sehen. Um diesen Prozess zu fördern, sollten ihm möglichst viele Möglichkeiten zur Exploration geboten werden. Es führt natürlich dazu, die reine Instruktion durch eine instruierte Exploration im Medium des Denkens zu ersetzen. Die Forschungstradition um dieses Medium des Denkens hat eine ebenso lange Tradition, wie die Diskussion um die Möglichkeit einer Instruktion überhaupt. Im Jahr 1256 reagierte der Heilige Thomas von Aquin auf ein Werk, das im Jahr 389 vom Heiligen Kirchenlehrer Augustinus Aurelius verfasst worden ist (Jüssen et al., 2006; Mojsisch, 1998). In beiden Werken wird der Wert der Wörter auf die Erkenntnisfähigkeit der Menschen diskutiert. Auch wenn die Lösungsansätze verschiedener nicht sein können, so werden beide Werke durch den ihren Titel geeint: *De magistro*.

Serviceteil

Literatur – 118

Stichwortverzeichnis – 123

Literatur

- Ach, N. (1905). *Über die Willenstätigkeit und das Denken*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Anderson, J. R. (1976). *Language, Memory, and Thought*. New Jersey: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1993a). Problem Solving and Learning. *American Psychologist*, 48 (1), 35–44.
- Anderson, J. R. (1993b). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1996). ACT: A Simple Theory of Complex Cognition. *American Psychologist*, 51 (4), 355–365.
- Anderson, J. R. (2010). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* New York: Oxford University Press.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere C. & Qin, Y. (2004). An integrated theory of mind. *Psychological Review*, 111, 1036–1060.
- Atkinson, R.C. and Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. In Spence, K.W., (ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89–195). Academic Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science (Regul. Ed.)*, 4 (11), 417–423.
- Baddeley, A. D. (2002). The psychology of memory. In: A. D. Baddeley, B. A. Wilson & M. Kopelman (Eds.) *Handbook of Memory Disorders*, 2nd Edition. Hove: Psychology Press, pp. 3–15.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working Memory. In G.A. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47–89). Academic Press.
- Baeyer, H. C. von. (2005). *Das informative Universum: Das neue Weltbild der Physik*. München: Beck.
- Barwise, J. & Perry, J. (1983). Situations and attitudes. Cambridge, MA: MIT Press.
- Barwise, J. (1993). Constrains, channels, and the flow of information. In P. Aczel, D. Israel, Y. Katagiri and S. Peters (Eds.). *Situation Theory and its Applications*, 3, Stanford: CSLI
- Bateson, G. (1987). *Geist und Natur: Eine notwendige Einheit* (1. Aufl.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Beckenkamp, M. (1995). *Wissenspsychologie: Zur Methodologie kognitionswissenschaftlicher Ansätze*. Heidelberg: Asanger.
- Bischof, N. (1995). *Struktur und Bedeutung: Eine Einführung in die Systemtheorie für Psychologen zum Selbststudium und für den Gruppenunterricht* (1. Aufl.). Bern: Huber.
- Bothell, D., & Anderson, J. R. (2014). *The ACT-R 6.1 Tutorial*. Website on Pittsburgh: Carnegie Mellon University.
- Brehmer, B. (1995). Feedback delays in complex dynamic decision tasks. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.). *Complex problem solving: The European perspective*, (pp. 89–116). Hillsdale: Erlbaum.
- Chater, N. & Oaksford, M. (2008). *The Probabilistic Mind: Prospects for Bayesian Cognitive Science*. Oxford: University Press.
- Chomsky, N. (1973). *Sprache und Geist*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Chomsky, N. (1981). *Regeln und Repräsentationen* (1. Aufl.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Cohen, R. A. (1993). *The Neuropsychology of Attention*. New York: Springer.
- Conant, R. C. & Ross Ashby, W. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system1. *International Journal of Systems Science*, 1, 2, 89–97.
- Cube, F. von (1968). *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Damasio, A. R. (2007). *Descartes' Irrtum: Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn* (4. Aufl.). München: List.
- Dieckmann, J. (2006). *Schlüsselbegriffe der Systemtheorie*. München: Wilhelm Fink Verlag.
- Dietrich, R. (2007). *Psycholinguistik*. Stuttgart: Metzler.
- Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen – Eine kybernetische Theorie der elementaren neuronalen Prozesse beim Denken*. Bern: Huber.
- Dörner, D. (1979). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (2. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1989). Die kleinen grünen Schildkröten und die Methoden der experimentellen Psychologie. *Sprache & Kognition*, 8 (2), 86–97.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W. & Reither, F. (Hrsg.). (1983). *Lohausen: Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Stuttgart: Hans Huber Bern.
- Ebeling, W. (1976): *Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen*. Teubner: Leipzig.
- Ebeling, W., Freund, J. & Schweitzer, F. (1998). *Komplexe Strukturen: Entropie und Information*. Teubner: Stuttgart.
- Favre-Bulle, B. (2001). *Information und Zusammenhang: Informationsfluß in Prozessen der Wahrnehmung des Denkens und der Kommunikation*. Wien: Springer.
- Feuchter, A. & Funke, J. (2004). Positive Effekte sozialen Faulenzens beim Lösen komplexer Probleme. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 56 (2), 328–349.
- Fillbrandt, H. (1987). Die Logik der Entdeckung des Lösungswissens bei Katonaschen Streichholzproblemen. *Sprache & Kognition* (1), 51–65.
- Foerster, H. v. & Müller, K. H. (2008). Action without Utility. An Immodest Proposal for the Cognitive Foundations of Behavior. In: K. H. Müller, *The New Science of Cybernetics. The Evolution of Living Research Design*. Wien: edition echoraum.
- Frank, H. G. (1996). *Bildungskybernetik*. Bratislava: SAIS Nitra.
- Frensch, P. (2006). *Kognition*. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Kognition* (S. 247–253). Göttingen: Hogrefe.

- Funke, J. (1990). Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen. *Sprache & Kognition*, 9 (3), 143–154.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken* (1. Aufl.). Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Funke, J. (Hrsg.). (2006). *Denken und Problemlösen* [Themenheft]. Göttingen: Hogrefe.
- Gandolfi, A. (2001). *Von Menschen und Ameisen: Denken in komplexen Zusammenhängen*. Zürich: Orell Füssli.
- Glaser, W. R. (1991). Repräsentation bei Mensch und Maschine. *Sprache & Kognition*, 10 (3), 125–135.
- Glaserfeld, E. von. (1996). *Radikaler Konstruktivismus: Ideen, Ergebnisse, Probleme* (1st ed.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Gunzelmann, G., & Anderson, J. R. (2003). Problem solving: Increased planning with practice. *Cognitive Systems Research*, (4), 57–76.
- Haken, H. (2003). Synergetik der Gehirnfunktionen. In: G. Schiepek (2003) *Neurobiologie der Psychotherapie*. Schattauer: Stuttgart.
- Hartig, J. & Klieme, E. (2005). Die Bedeutung schulischer Bildung und soziobiographischer Merkmale für die Problemlösekompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 83–97). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hoffmann, U. (1998). Autopoiesis als verkörpertes Wissen. Eine Alternative zum Repräsentationskonzept. In: Gold P. & Engel, A. K. (1998). *Der Mensch in der Perspektive der Kognitionswissenschaften*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Holyoak, K. J. (2005). *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 79(8), 2554–2558.
- Hussy, W. (1983). Komplexe menschliche Informationsverarbeitung: das SPIV-Modell. *Sprache & Kognition*, 2, 47–62.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie: Band 1: Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hussy, W. (1985). Komplexes Problemlösen- Eine Sackgasse? *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* (1), 55–74.
- Hussy, W. (1986). *Denkpsychologie: Band 2: Schlußfolgern, Urteilen, Kreativität, Sprache, Entwicklung, Aufmerksamkeit*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hussy, W. (1998). *Denken und Problemlösen* (2., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Itti, L. & Arbib, M. (2006). Attention and the minimal subscene. In: M. Arbib (Ed.). *Action to language via the mirror neuron system*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jüssen, G., Krieger, G., Schneider, J. H. J. & Thomas. (2006). *Thomas von Aquin, Über den Lehrer, De magistro: Quaestiones disputatae de veritate, quaestio XI; Summa theologiae, pars I, quaestio 117, articulus 1; Lateinisch-Deutsch (Sonderausg.)*. Hamburg: Meiner.
- Kandel, E. R. & Squire L. R. (2009). *Gedächtnis*. Heidelberg: Spektrum.
- Kandel, E. R. (1996). *Neurowissenschaften*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Katona, G. (1940). *Organizing and memorizing. Studies in the psychology of learning and teaching*. New York: Columbia Press; unveränderter Nachdruck durch Hafner Publishing Company, New York (1967).
- Kauffman, L. H. (2002). Time, imaginary value, paradox, sign and space. *AIP Conference Proceedings* 627, 1, 146–159.
- Kay, L. E. (2005). *Das Buch des Lebens: Wer schrieb den genetischen Code?* (1. Aufl.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Kerres, M. (1997). Technische Aspekte multimedialer Lehr-Lernmedien. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S.25–45). Weinheim: Beltz.
- Klieme, E. (1989). Mathematisches Problemlösen als Testleistung. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Klieme, E., Hartig, J. & Wirth, J. (2005). Analytisches Problemlösen: Messansatz und Befunde zu Planungs- und Entscheidungsaufgaben. In: Klieme, Eckhard; Leutner, Detlev; Wirth, Joachim (Hrsg.). *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern Wiesbaden*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 37–54
- Klix, F. & Krause, B. (1969). Struktur in der Experimentalpsychologie. *Zeitschrift für Psychologie*, 176, 22–54.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1988a). *Gedächtnis und Wissen*. In: Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.). *Wissenspsychologie*. München, Weinheim, 19–54.
- Klix, F. (1988b). On the role of knowledge in sentence comprehension. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 113–128.
- Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.
- Klix, F. & Rautenstrauch-Goede, K. (1967). Struktur- und Komponentenanalyse von Problemlöseprozessen. *Zeitschrift für Psychologie*, 174, 167–193.
- Kluwe, R. H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*, 9 (4), 173–192.
- Kluwe, R. H., Schilde Andree, Fischer, C. & Oellerer, N. (1991). Problemlösen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*, 37 (4), 291–313.
- Knoblich, G. (2002). Problemlösen und logisches Schließen. In: J. Müsseler und W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Köck, W. K. (1987). Kognition – Semantik – Kommunikation. In: Schmidt, S. J. (Hrsg.), *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus* (S. 340–373). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43:59–69.
- Kotovsky, K., Hayes, J. R., & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence of Hanoi from tower. *Cognitive Psychology*, 294, 248–294.
- Krohn, W., Küppers, G. & Paslack, R. (1992). Selbstorganisation: Zur Genese und Entwicklung einer wissenschaftlichen Revolution. In S. J. Schmidt (Hrsg.), *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus* (S. 441–465). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

- Lämmel, U. & Cleve, J. (2001). *Künstliche Intelligenz. Lehr- und Übungsbuch*. München: Hanser.
- Leutner, D., Wirth, J., Klieme, E. & Funke, J. (2005). Ansätze zur Operationalisierung und deren Erprobung im Feldtest zu PISA 2000. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 21–36). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Erlbaum.
- Lucas, E. (1883). *Récréations mathématiques*. Paris: Gauthier-Villars
- Lüer, G. & Spada, H. (1990). Denken und Problemlösen. In Spada, H. (Hrsg.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (S. 189–280). Bern: Huber.
- Mainzer, K. (2008). *Komplexität*. Paderborn: UTB.
- Mandl, H. & Spada, H. (1988). *Wissenspsychologie*. München: Psychologie Verlags Union.
- Mandl, H. (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Mandl, H., Friedrich, H. F. & Hron, A. (1988). Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 123–160). Weinheim: PVU.
- Marcus, G. F. (2001). *The algebraic mind: Integrating connectionism and cognitive science*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Marcus, G. F. (2003b). *Der Ursprung des Geistes: Wie Gene unser Denken prägen*. Düsseldorf: Walter.
- Maturana, H. (2000). *Biologie der Realität* (1. Auflage.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition* (2nd). New York: W.H. Freeman.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition* (2nd). New York: W.H. Freeman.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with Gestalt psychology's unanswered questions. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 3–32). Cambridge, MA: MIT Press
- Mayer, R. E. (1997). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: W. H. Freeman.
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2005b). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: University of Cambridge.
- McCarthy, J. (1956). The inversion of functions defied by turing machines. In Shannon, J. M. (Ed.), *Automata Studies*, *Annals of Mathematical Studies*, 34, 177–181. Princeton: Princeton University Press.
- McCulloch, W. S. (2000). *Verkörperungen des Geistes*. Wien; New York: Springer.
- McCulloch, W.S. & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull Math Biophysics*, 5, 115–133.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. London: Holt, Rinehart & Winston.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1973). *Strategien des Handelns*. Stuttgart: Klett.
- Mitmansgruber, H. (2003). *Kognition und Emotion. Die Regulation von Gefühlen im Alltag und bei psychischen Störungen*. Zürich: Huber.
- Mojsisch, B. (1998). *Augustinus. De magistro. Über den Lehrer*. Stuttgart: Reclam.
- Neber, H. (Hrsg.). (1987). *Angewandte Problemloesepsychologie*. Münster: Aschendorff.
- Neisser, U. (1976). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton.
- Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Cotta.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1961). Computer Simulation of Human Thinking. *Science*, 134 (3495), 2011–2017.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (2. print.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Newell, A. (1970). Remarks on the Relationship between Artificial Intelligence and Cognitive Psychology. In: Banerji, Ranan Bihari (Hrsg.), & Systems Symposium, 4, 1968, Cleveland, Ohio. (1970). *Theoretical approaches to non-numerical problem solving: Proceedings of the IV Systems Symposium at Case Western Reserve University*. Berlin: Springer.
- Newell, A. (1980). Physical Symbol Systems. *Cognitive Science*, 4, 135–183.
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Norvig, P. (1992). *Paradigms of Artificial Intelligence Programming: Case Studies in Common LISP*. San Mateo: Kaufmann.
- Pagel, L. (2013). *Information ist Energie*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Papst Franziskus (2015). *Umwelt-Enzyklika*. Rom
- Pask, G. (1961). *An Approach to Cybernetics*. New York: Harpe.
- Peirce, C. S. (1983). *Phänomen und Logik der Zeichen*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Penrose, R. (2002). *Computerdenken*. Die Debatte um künstliche Intelligenz, Bewußtsein und die Gesetze der Physik. Heidelberg: Spektrum.
- Piaget, J. (1973). *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives*. Paris: Presses universitaires de France.
- Piaget, J. (1977). *The development of thought: Equilibration of cognitive structures*. New York: Viking Press.
- Popper, K. R. (1994). *Alles Leben ist Problemlösen: Über Erkenntnis, Geschichte und Politik*. München: Piper.
- Popper, K. R. (2005). *Alles Leben ist Problemlösen*. München: Pieper.
- Popper, K. R. (2003). *Alles Leben ist Problemlösen: Über Erkenntnis, Geschichte und Politik* (Sonderausg.). München, Zürich: Piper.
- Pospeschill, M. (2004). *Konnektionismus und Kognition*. Kohlhammer: Stuttgart.
- Putz-Osterloh, W. (1985). Selbstreflexionen, Testintelligenz und interindividuelle Unterschiede bei der Bewältigung komplexer Probleme. *Sprache & Kognition* (4), 203–216.
- Putz-Osterloh, W., Bott, B. & Houben, I. (1988). Beeinflusst Wissen über ein realitätsnahes System dessen Steuerung. *Sprache & Kognition*, 7(4), 240–251
- Quillian, M. R. (1969). "The teachable language comprehender: a simulation program and theory of language". *Communications of the ACM* 12 (8): 459–476.

- Raaheim, K. (1988). Intelligence and task novelty. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human mind* (Vol. 4, pp. 73–97). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reichert, U. & Dörner, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem "einfachen" dynamischen System. *Sprache & Kognition* (7), 12–24.
- Repova, G. & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience* (1), 5–21.
- Reyna, V. F. & Brainerd C.J. (1995). Fuzzy-trace theory: Some foundational issues. *Learning and Individual Differences*, 7(2), 145–162.
- Robertson, S. I. (2001). *Problem solving*. Hove [England], Philadelphia: Psychology Press.
- Rumelhart, D. & Norman, D. (1978). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In: J.W. Cotton & R. Klatzky (eds.), *Semantic factors in cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Peirce 1967, 1983
- Russell, S. & Norvig, P. (2004). *Künstliche Intelligenz*. Ein moderner Ansatz. München: Pearson Studium.
- Schäfer, L. (1999). *Das Bacon-Projekt*. Von der Erkenntnis, Nutzung und Schonung der Natur. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). *Script, plans, Goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Schmidt, S. J. (1987). *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Schnotz, W. (1993). *Aufbau von Wissenstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469–508.
- Schoppek, W. & Putz-Osterloh, W. (2003). Individuelle Unterschiede und die Bearbeitung komplexer Probleme. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 24 (3), 163–173.
- Schumacher, B. (1990). Information from Quantum Measurements. In W. H. Zurek (Ed.), *Complexity, entropy and the physics of information* (pp. 30–37). Redwood City: Addison-Wesley Publishing Company.
- Schwartz, M. F. (2006). The cognitive neuropsychology of everyday action and planning. *Cognitive Neuropsychology*, 23 (1), 202–221.
- Schweitzer, F. (1997a). Selbstorganisation und Information. In H. Krapp & T. Wagenbaur (Hrsg.), *Komplexität und Selbstorganisation "Chaos" in den Natur- und Kulturwissenschaften*, (S. 99–129)=[Themenheft]. München: Fink.
- Schweitzer, F. (1997b). Structural and functional information - an evolutionary approach to pragmatic information. *World Futures* (50), 533–549.
- Seibel, P. (2005). *Practical Common Lisp*. Berkeley: Apress.
- Shutts, K., Keen, R., Örnkloo, H., Hofsten, C. von, & Spelke, E. S. (2009). Young children's representations of spatial and functional relations between objects. *Child Development*, 80 (6), 1612–1627.
- Simon, H. A. (1974) How big is a chunk? *Science*, 183, 482–488.
- Simon, H. A. (1990). Invariants of Human Behavior. *Annual Review of Psychology*, 41, 1–19.
- Spencer-Brown, G. (1969). *Laws of form: Gesetze der Form*. New York: Dutton.
- Stäudel, T. (1987). Problemlösen, Emotionen und Kompetenz: Die Überprüfung eines integrativen Konstrukts. Regensburg: Roderer.
- Steinmetz, R. (1999). *Multimedia-Technologien*. Berlin: Springer.
- Sternberg, R. J., & Frensch P. A. (Eds.). (1991). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Strogatz, S. H. (2004). *Sync: How order emerges from chaos in the universe, nature, and daily life*. New York: Hachette Books.
- Strohschneider, S. (1986). Zur Stabilität und Validität von Handeln in komplexen Realitätsbereichen. *Sprache & Kognition* (1), 42–48.
- Strunk, G. & Schiepek, G. (2006). *Systemische Psychologie: Eine Einführung in die komplexen Grundlagen* Tipper, S. P. & Weaver, B. (1998). The Medium of Attention: Location-based, Object-Centred, or Scene-based? In: R.D. Wright (Ed.). *Visual Attention*. Oxford: Oxford University Press.
- Tulving E. (1983). *Elements of episodic memory*. Oxford: Clarendon.
- Varela, F. J. (1990). *Kognitionswissenschaft-Kognitionstechnik: Eine Skizze aktueller Perspektiven* (1. Aufl.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Vaterrodt-Plünnecke, B. & Bredenkamp, J. (2006). *Gedächtnis: Definitionen, Konzeptionen, Methoden*. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Kognition* (S. 247–253). Göttingen: Hogrefe.
- Weizenbaum, J. (1997). *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt a.M.: Springer.
- Weizsäcker, C. F. von (1974). *Die Einheit der Natur*. München: Deutscher Taschenbuch-Verlag.
- Weizsäcker, C. F. von (1982). *Die Einheit der Natur: Studien* (2. Aufl., 11. – 25. Tsd.). München: Deutscher Taschenbuch-Verlag.
- Weizsäcker, E. (1974). *Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution: Hrsg. von Ernst von Weizsäcker*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Wenke, D. (2006). *Analoges Schließen*. In J. Funke & P. A. Frensch (Hrsg.), *Handbuch Allgemeine Psychologie: Kognition* (S. 406–411). Göttingen: Hogrefe.
- Whitehead, A. N. (2000). *Kulturelle Symbolisierung* (1st ed.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Whorf, B. L. (2008). *Sprache – Denken – Wirklichkeit: Beiträge zur Metalinguistik und Sprachphilosophie; hrsg. und übers. von Peter Krausser* (rororo Enzyklopädie, Bd. 55403, 25. Aufl.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Wickelgren, W. (1977). *How to solve problems: Elements of a theory of problems and problem solving*. San Francisco: Freeman.
- Wiener, N. (1965, 1948). *Cybernetics: Or, Control and communication in the animal and the machine* (2d paperback). Cambridge, Mass: M.I.T. Press.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL)

- Wittgenstein, L. (2006). *Tractatus logico-philosophicus*. Werkausgabe Band 1. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Wright, R. D. & Ward, L. M. (1998). The control of visual attention. In: R.D. Wright (Ed.). *Visual attention*. Oxford: Oxford University Press.

Stichwortverzeichnis

A

Abnahme 21
 Abtastung 29
 Agent
 – kognitiver 47
 Aha-Erlebnisses 11
 Akkomodationsprozess 34
 Algorithmus 29
 Analogie 32
 Antizipation 70, 79
 – schematische 85
 Approximation
 – informelle 28
 Äquilibrium 64
 Äquivokation 56
 Aufgabe 7
 Auflösungsgrad 13
 Aufmerksamkeit 36, 72, 82
 – fokussierte 74
 – selektive 74
 Aufmerksamkeitsmoment 74
 Automaten 21
 Automation 101

B

backward-tracking 89
 Barriere
 – dialektische 9
 – Interpolations- 9
 – Synthese- 9
 Bedeutsamkeit 105
 Beobachtbares 64
 Beobachter 65
 – unabhängiger 9
 Beobachtung 64
 Bewertungswissen 92
 Bewusstsein 30, 42
 Bewusstwerdung 55
 Bewußtsein 78
 Bezeichnungswissen 72
 Beziehung
 – binäre 13, 20
 – ternäre oder quartäre 13
 – ternäre, quaternäre 20
 Beziehungen höherer Ordnung 20
 bit 27
 black box 24

C

Chunk 60
 Code 29, 54
 – biologischer 57
 – multimodaler 42
 Cognitive Load 86
 constraints 74
 Cyberspace 26

D

Dekodieren 87
 Deliberation 100
 Denken 31
 – problemlösendes 42, 81
 – produktives 34
 dialektische Barriere 80
 Dicent 31
 dynamical view 17
 Dynamik 20

E

Effektivität 72, 84
 Effizienz 84
 Eigendynamik 21
 Eigenwerte 63
 Element 12
 – aktives 21
 Elementarereignisse 57
 Emergenz 54
 Emotion 72
 Emotionsdynamik 72, 94
 Empfänger 14, 27
 Enkodieren 87
 Enkodierung 39
 Entmaterialisierung 52
 Entropie
 – subjektive 28
 Epiphänomen 61
 Episode 75, 86, 97–98
 episodic buffer 41
 Evaluation 92
 evaluative Struktur 64, 83
 Evaluatoren 35, 92
 Evolution
 – kulturelle 58

Exekutive
 – exekutive 41
 Exploration 70, 92
 explorativ 84
 Extraneous Load 86
 Extrapolation 92–93

F

fast-learning system 60
 finiter Automat 66
 Form 11
 Formüberlappung 59
 Fremdtransformationen 15

G

Gedächtnis
 – episodisches 42
 Gehirn 33
 generativ 21
 Germane Load 86
 Gestaltgesetze 55
 gestaltpsychologische Schule 11
 Grammatik 77
 – generative 78
 – konstruktive 78

H

Heurismen 34
 Heuristik 32, 70–71, 80
 heuristische Struktur 34
 hill climbing 89
 Historizität 63
 holistic code 87
 Humankybernetik 55
 humankybernetisches Informations-
 maß 106

I

ill-defined problems 9
 Index 31
 Indifferenz 94
 Induktion 32
 Inferenzen 31

Information 26

- akustische 40
- ästhetische 55
- funktionale 52
- perzeptuelle 57
- potenzielle 47
- pragmatische 52
- selektive 27
- semantische 54
- strukturelle 52
- subjektive 28
- syntaktische 53
- visuelle 41

Informationen

- sprachliche 40

Informationsgehalt 11

Informationsverarbeitung

- menschliche 33

inner scribe 41

Innovation 27

integrierte Episoden 94

intermodale Kongruenz 57

intermodaler Konsistenztest 57

Internalisierung 63

Intransparenz 47

Intrinsic Load 86

Invarianz 62

Irrationales 81

Irreversibilität 20

Ist-Zustand 7

J

Junktoren 32

K

Kategorien 96

- artifizielle 59
- natürliche 59

Klassenbildung 68

Kodierung 29

Kognition 33, 57

Kognitivismus 61

Kohärenz

- operationale 72

komplexes Problemlösen 102

Komplexion 35

Komplexität 53

Komplexitätsreduktion 18

Konnektionismus 61

Konnektivität 20

Koppelung 13

Kurzzeitgedächtnis 40

Kybernetik 24

L

Langzeitgedächtnis 40

Lernen 84

- relationales 101

Lohhausenstudie 17

Lokalisation 81, 91

M

Markierung 12

Medien

- zeitunabhängige (diskrete) 15

Medium 13

Mehrfachwirkungen 20

Memorieren 88

Merkmoment 74

Metaplan 88

Mittel-Ziel-Analyse 89

Modell

- Design- und Instruktions- 9

- mentales 9

- objektives 9

- psychologisches 9

Modellbildung 102

Modelle

- hybride 25

N

Negentropie 28

Netz

- neuronales 33
- semantisches 33

Neuronen 34

Neuronencluster 34

Notizblock

- räumlich-visueller 40

- räumlich_visueller 41

O

Operator 61

Optimalcode 99

Oszillation 21

P

paradox 21

Perzepte 58, 75, 100

Planen 42

Planning Load 86

Planungsraum 50, 70, 84

Polytelie 49, 104

Problem 6

Probleme

- einfache 8
- komplexe 8

Problemlösen 42, 66

- analytisches 102

- komplexes 102

Problemlöseprozess 10

Problemlöser 15, 66

Problemraum 10, 49

- zivilisatorischer 70

Produktion

- allgemeine 38

- spezifische 38

Produktionen 36

Produktionssystem 36

prognostizieren 70

Prozeduralisierung 101

Prozessor 30

- zentraler 35

Prozessraum 50

Prozesssprache 50

R

Raum 71

Raumdimensionen 15

Raumstruktur 12

- deterministische
- zweidimensionale 12

Realitätsbereich B 15

Redundanz 28, 43

rehearsal 41

Rekodierung 29

Rekursion 20

Relationen 12

Relationspotenzialzahl 13

Relaxationen 105

Repräsentation

- symbolische 29

Repräsentationen

- kulturelle 58

Reversibilität 20, 90

Rhema 31

Rückkopplung 25

S

Schema 34

Schleife

- phonologische 40

Schließen 31

Schlussfolgern 31

- proportional 31

Selbstreferenz 21
 Selbstreferenzialität 52
 Selektivität 81
 Semiotik 30, 58
 Semiotizität 58
 Sender 14, 26
 Signale 14, 26
 Signalparameter 29
 Situation 42, 46
 – gewünschte 7
 Skript 35
 Soll-Zustand 7
 somatische Marker 92, 94
 Sprache 65, 77
 Sprachgemeinschaft 77
 Stabilität 20–21, 64
 Strategien 88
 Streichholzprobleme 10
 Struktur
 – epistemische 35
 Struktursystem 78
 Suchbaum 50
 Suchraum 50
 Symbol 30–31
 Symbolstrukturen 50
 Symboltransformationen 30
 Symbolverarbeitung 29
 System 14–15
 – komplexes dynamisches 17
 – kontinuierliches 20
 – parallelvernetztes 33
 – vergangenheitsabhängiges 21
 – zeitdiskretes 20
 – zeitkontinuierliches 20
 Systemstabilität 26
 Systemtheorie
 – generelle 14
 Systemzeit 20

T

Tendenzapparat 95
 Tendenzmechanismen 96
 Tiefensuche 89
 TOTE-Einheit 24–25
 Trajektorie 10
 Transduktion
 – sensorische 57
 Transfer 82
 Transinformation 56, 85
 Transparenz 15
 Treelet 60
 Turing-Maschine 30
 Turm von Hanoi 9

U

Umstrukturierungsheuristiken 92
 Unordnung 28
 Unsicherheit 27
 Unterziele 87
 Uralternativen 47
 Urobjekte 47
 Urteilen 31

V

Valenzierung 105
 Validität
 – kologische 17
 VAPZ (Variabilitätspotenzialzahl) 15
 Variabilitätspotenzialzahl (VAPZ) 15
 Variable
 – endogene 19
 – exogene 15, 20
 – rückgekoppelte (rekursive) 19
 – unverbundene 19
 – vernetzte 19
 Variablenzahl 18
 Veränderungswissen 34, 72
 Vernetztheit (Konnektivität) 19
 Versuch-und-Irrtum-Verhalten 81
 VI-Verhalten
 – stochastisches 81
 – systematisches 81
 Vielzieligkeit 49
 visual cache 41

W

Wahrnehmbares 64
 Wahrscheinlichkeit 27, 32
 Wahrscheinlichkeitsfeld 67
 well-defined problems 9
 white box 24
 Wiedereintritt („reentry“)
 – infiniter 21
 Wirkgefüge 14
 Wirkrichtung 19
 Wissen
 – konzeptuelles 74
 – ontologisches 74
 Wissensverarbeitung
 – datengesteuerte# 38
 – zielgesteuerte 38

Z

Zeichenschwere 55
 Zeit 15, 20–21
 Zeitintervall 15
 Zeitquant
 – subjektives 55
 zentrale Exekutive 40
 Zielementen 37
 Zufallsereignisse
 – kategorisierte 96
 Zunahme 21
 Zustandsraum 50
 Zustandssprache 50