

Einleitung

Stellen Sie sich folgende Situation vor, die Ihnen vielleicht bekannt vorkommen wird: Sie sitzen vor Ihrer Computertastatur und tippen einen Satz ein. Schon während des Tippens merken Sie, dass etwas nicht stimmt, irgendwie ist beim Tippen etwas schief gelaufen. Während Ihre Finger noch weitertippen, beginnen Sie die letzten paar Sekunden Revue passieren zu lassen und Sie schauen auf das, was Sie gerade getippt haben. Bestimmt ist Ihnen ein Fehler unterlaufen. Und tatsächlich, da ist doch ein Buchstabe an eine Stelle gerückt, an die er nicht hingehört. „Schon wieder ein Tippfehler, ich habe es doch geahnt!“ denken Sie und beginnen mit der Korrektur, da bemerken Sie, dass dies nicht der einzige Tippfehler war, der Ihnen unterlaufen ist.

Wie kommt es, dass manche Fehler bewusst werden, während andere Fehler unentdeckt bleiben? Was unterscheidet diese bewussten Fehler von den unbewussten und welche Mechanismen führen dazu, dass ein Fehler bewusst wird?

Was das Beispiel illustriert ist, wie ein Fehler in einer relativ routinierten Handlung entdeckt und bewusst wird. Das Beispiel stellt dabei die Bewusstwerdung des Fehlers in zwei Schritten dar: Zunächst entsteht das unspezifische Gefühl, das etwas anders ist als erwartet. Als Folge dieses Eindrucks beginnt eine Suche nach den Ursachen für dieses Gefühl und argwöhnisch über die eigene Tippfähigkeit wird die Annahme geprüft, dass möglicherweise ein Tippfehler begangen wurde. Schließlich wird ein Fehler entdeckt und somit ist eine passende Erklärung gefunden. Der Tippfehler ist als Fehler bewusst geworden. Dabei werden zufällig noch andere Fehler entdeckt, aber diese waren offensichtlich nicht von dem Gefühl begleitet, dass etwas nicht in Ordnung ist. Heißt das, dass das Gefühl, dass etwas anders ist als erwartet, notwendig ist, damit Fehler bewusst werden?

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit solchen Prozessen der Bewusstwerdung. In bisherigen Arbeiten zur Fehlerforschung wurde der Aspekt der Bewusstwerdung von Fehlern nur sehr unzureichend oder gar nicht berücksichtigt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Lücke zu schließen und die Rolle des Bewusstseins bei der Entdeckung von Fehlern herauszuheben. Dabei geht es insbesondere darum, Prozesse und Mechanismen aufzudecken und zu prüfen, die den Übergang von einer unbewussten zu einer bewussten Verarbeitung bedingen. Damit leistet die Arbeit einen Beitrag zur generellen Diskussion um die Funktion des Bewusstseins und seine Entstehung.

Bevor die Hauptthese dieser Arbeit vorgestellt wird, ist zunächst erforderlich, den unscharfen Begriff des „Bewusstseins“ einzuengen. Die konzeptuelle Einordnung von Bewusstsein bildet die Grundlage für die Argumentation dieser Arbeit.

Zwei grundlegende Fragen stehen im Mittelpunkt der Diskussion um das Bewusstsein: Zum einen stellt sich die Frage, ob sich Bewusstsein auf materielle Gegebenheiten reduzieren lässt (Materialismus vs. Dualismus) und zum anderen, ob das Bewusstsein eine Funktion besitzt oder ein Nebenprodukt physikalischer Prozesse ist (Funktionalismus vs. Epiphänomenalismus). Diese Fragen beschäftigen die Wissenschaft seit jeher. Einen markanten Punkt setzte der französische Philosoph Descartes im 17. Jahrhundert. Descartes begründete die moderne Philosophie, indem er die körperliche Außenwelt („res extensa“) von der geistigen Innenwelt („res cogitans“) trennte. Diese Trennung

..... ■
wird als descartscher Dualismus bezeichnet, obschon Descartes selbst weniger eine streng dualistische als eine interaktionistische Theorie im Sinn hatte. Dem descartschen Dualismus liegt die Vorstellung zugrunde, dass die Welt des Psychischen und das Bewusstsein sich nicht auf das Wirken materieller, physikalischer Gegebenheiten reduzieren lassen. Diese Vorstellung war und ist enorm einflussreich und bestimmte einen Großteil der zunächst philosophischen und später auch psychologischen Modelle des menschlichen Bewusstseins und Denkens.

Die Ansicht, dass es zwei Welten, eine physikalische und eine psychische gibt, liegt auch der „drei Welten“-Theorie von Popper zugrunde und auch aktuelle philosophische und psychologische Modelle des Bewusstseins beziehen sich auf die descartsche Teilung von Materie und Geist (z.B. Block, 1995; Chalmers, 1996; Nagel, 1974). Aber es gab und gibt auch Alternativmodelle zu dieser Teilung: zum einen die Annahme, dass die Welt des Geistes und der Ideen das Primat des Seins sind (vertreten im Idealismus) und zum anderen die Annahme, dass Bewusstsein und Geist sich letztlich auf eine materielle Substanz zurückführen lassen (Materialismus).

Von diesem grundlegenden ontologischen Disput setzt sich eine weitere Unterscheidung ab, die zunächst sowohl mit einer materialistischen als auch mit einer dualistischen Sichtweise kompatibel ist. Diese Unterscheidung betrifft die Frage, ob das Bewusstsein eine Funktion innerhalb menschlicher Kognitionen und des Verhaltens hat oder ob Bewusstsein ein Epiphänomen (eine Nebenerscheinung) physikalischer oder kognitiver Prozesse ist. Block (2003) formuliert diese Frage folgendermaßen: Ist das Bewusstsein die Folge der Realisation einer Funktion (etwa neuronaler Erregungsmuster oder von Kontrollprozessen) oder ist das Bewusstsein die Funktion selbst (funktionalistische Sicht). Block ist ein Vertreter der analytischen Philosophie. Die auf Wittgenstein beruhende analytische Philosophie führt das „Leib-Seele-Problem“ (ein Synonym für die Frage nach dem Dualismus) auf einen falschen und ungenauen Gebrauch der Sprache zurück. Block (1995) verweist in diesem Sinn auf die unterschiedliche Nutzung des Begriffs „Bewusstsein“ und die fatale Vermengung der unterschiedlichen zugrundeliegenden Konzepte. Zur Klärung dieses Problems unterscheidet er ein Zugangsbewusstsein (die Zugänglichkeit eines mentalen Zustandes für rationale Schlussfolgerungsprozesse und Verhalten) von einem phänomenalen Bewusstsein (dem Bewusstsein als Erfahrung, der „Qualia“ des Bewusstseins). Das Zugangsbewusstsein ist prinzipiell mit der neuro- und kognitionswissenschaftlichen Methodik erforschbar. Zugangsbewusstsein lässt sich funktional erklären. Hingegen ist das phänomenale Bewusstsein nicht auf funktionale Prozesse reduzierbar und es ist mehr als fraglich, ob es mit dem heutigen methodischen Instrumentarium erforscht werden kann (Chalmers, 1996). Entsprechend dieser Einsicht versucht die vorliegende Arbeit, ausschließlich Aussagen über das Zugangsbewusstsein zu treffen. Da aber nahezu alle rezipierten Theorien beide Formen des Bewusstseins unachtsam vermengen, ist an manchen Stellen eine strikte Trennung schwer aufrecht zu halten.

Die erste der aufgeworfenen Fragen nach dem Verhältnis von Bewusstsein und Materie, also dem sogenannten Leib-Seele-Problem, ist meines Erachtens mit empirisch wissenschaftlicher Methodik nicht zu beantworten. Diese Frage bleibt der Philosophie zugeordnet und wird in dieser Arbeit nicht weiter thematisiert. Anders hingegen steht es um die Frage nach der Funktion von Bewusstsein. Diese kann meines Erachtens nur auf empirisch-wissenschaftlichem Weg beantwortet werden: Ge-

lingt der Nachweis, dass es einen Unterschied im Verhalten und in der Kognition macht, ob ein Reiz oder die Repräsentation eines Reizes einem Individuum bewusst oder nicht-bewusst ist, dann ist damit auch die Funktion des Bewusstseins selbst hinreichend beschrieben (vgl. Chalmers, 1996).

Eine grundlegend funktionale Theorie des Bewusstseins findet sich in der klassischen Zwei-Prozess-Annahme der menschlichen Informationsverarbeitung (Posner & Snyder, 1975). Darin wird eine automatische und unbewusste Verarbeitung von einer kontrollierten und bewussten getrennt. Dabei sollte die automatische Verarbeitung keine Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen, parallel verlaufen und nicht der intentionalen Steuerung unterliegen, während die kontrollierte Verarbeitung Aufmerksamkeit beansprucht, seriell verläuft und von rationalen Entscheidungen beeinflusst werden kann. Obschon die einzelnen Aspekte des Modells kritisch betrachtet werden (z.B. Neumann, 1992), findet sich ein Grundgedanke in nahezu allen aktuellen (psychologischen) Theorien des Bewusstseins wieder. Es ist die Verknüpfung von Kontrolle, rationalen Entscheidungen und Bewusstsein.

Legt man dies zugrunde, lässt sich daraus eine vielversprechende These über die Funktion des Bewusstseins bilden. Als ein vorweggenommener Konsens der in dieser Arbeit vorgestellten Theorien, kann die Funktion des Bewusstseins folgendermaßen beschrieben werden: Zum einen kann ein bewusst repräsentiertes Verhalten intentional kontrolliert werden und zum anderen können bewusste Repräsentationen in einen rationalen (deduktiven) Denk- und Entscheidungsprozess einbezogen werden (Block, 1995; Posner & DiGirolamo, 1998).

Nimmt man an, dass Bewusstsein für die Kontrolle des Verhaltens von Bedeutung ist, dann stellt sich die Frage, welcher Zusammenhang zwischen dem Bewusstsein und Fehlern besteht, da auch Fehlern im Kontext der Verhaltenskontrolle eine herausragende Bedeutung zugeschrieben wird (vgl. Adams, 1971; Schmidt, 1975; Hoffmann, 1993). Fehler liegen vor, wenn der aktuelle Zustand von einem zu erreichenden Zielzustand abweicht. Der Sinn von Kontrollprozessen liegt genau darin, solche Erwartungsdifferenzen oder im weiteren Sinne Konflikte aufzulösen. Im Einklang mit dieser Annahme nehmen z.B. Norman und Shallice (1986; Cooper & Shallice, 2001) in ihrem Modell der exekutiven Kontrolle ein *Supervisory-Attentional-System* an, das in die automatische Verhaltenssteuerung eingreift, wenn weiterführende Kontrollprozesse benötigt werden. Diese weiterführenden Kontrollprozesse werden benötigt: 1. Bei Planungen und Entscheidungen, 2. zur Fehlerkorrektur, 3. bei wenig und gar nicht gelernten Reaktionen, 4. bei Bedingungen, die als schwierig oder gefährlich eingestuft werden, und 5. wenn habituierte Reaktionen überwunden werden sollen (Posner & DiGirolamo, 1998). Allen fünf Typen von Situationen ist gemein, dass sie den Aspekt der Fehlervermeidung oder Fehlerkontrolle beinhalten und dass sie Kognitionen betreffen, von denen angenommen wird, dass sie dem Individuum bewusst sind. Die exekutive Kontrolle des Verhaltens kann also als ein System gesehen werden, das der Vermeidung oder Korrektur von Fehlern dient.

Wie verhalten sich Bewusstsein und Fehler konkret zueinander? Der erste direkte Schluss, den man aus der vorhergehenden Darstellung ziehen könnte, wäre, dass intentionale Kontrolle und Bewusstsein dann einsetzen, wenn ein Fehler geschieht oder wenn die Gefahr groß ist, dass es zu einem Fehler kommt. Leider stellt sich die empirische Situation nicht so simpel dar. So konnte bereits Rab-

bitt (1968, 2002; Rabbitt & Rodgers, 1977, Rabbitt & Vyas, 1981) zeigen, dass zum einen Versuchspersonen in einer einfachen Seriellen-Wahl-Reaktions-Aufgabe Fehler automatisch korrigierten, auch wenn sie nicht beabsichtigten dies zu tun und zum anderen, dass Fehlerkorrektur nicht notwendig mit dem Bewusstsein eines Fehlers einhergeht. Ähnliche Hinweise geben auch neuere neurophysiologische Befunde bei der Untersuchung eines fehlerspezifischen ereigniskorrelierten Potentials, der sogenannten Error-Related-Negativity (Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann & Blanke, 1991; Gehring, 1993), dessen Auftreten nicht notwendig mit einer Bewusstwerdung des Fehlers einhergeht.

Zieht man aus diesen Befunden die Schlussfolgerung, dass es eine Verarbeitung und Reaktion auf einen Fehler gibt, die nicht-bewusst verläuft, stellt sich direkt die Frage, worin sich die unbewussten Fehler von Fehlern unterscheiden, die in das Bewusstsein vordringen, oder anders formuliert: Warum werden manche Fehler bewusst, während andere unbewusst bleiben? Die sparsamste Antwort auf diese Frage ist, dass die Bewusstwerdung des Fehlers von der Stärke des dem Fehler zugrundeliegenden Konfliktes und der Bedeutung des Fehlers abhängt. Das heißt, ein Fehler wird dann bewusst, wenn die beobachtete Differenz zwischen dem Ist- und dem Zielzustand hinreichend groß ist. Die Antwort, die in dieser Arbeit auf die Frage nach der Bewusstwerdung von Fehlern gegeben wird, schließt sich einerseits dieser Sichtweise an, differenziert diese aber andererseits. Die These dieser Arbeit ist, dass der Prozess der Bewusstwerdung von Fehlern ein grundlegend konstruktiver Prozess ist. Dabei spielen der Kontext und die Bedeutung, die den kognitiven Repräsentationen zugeschrieben werden, eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung eines Fehlers. Diese These kommt dem nahe, was Whittlesea (1997) viel allgemeiner im SCAPE-Modell formulierte: Menschen konstruieren permanent ein mentales Modell ihrer Umwelt, in dem sie versuchen, alle externen Reize und die internen Repräsentationen zu einem kohärenten Bild zu integrieren. Die Funktion eines solchen Integrationsprozesses ist das Erkennen von fehlerhaften Repräsentationen und die Steuerung von Aufmerksamkeit, was wiederum die Kontrolle über Inkohärenzen ermöglicht. Eine ähnliche Sichtweise zeigt sich auch im Modell des Global-Neuronal-Workspace von Dehaene und Naccache (2001). Die Funktion eines Global-Neuronal-Workspace und damit auch die Funktion von Bewusstsein ist die Schaffung eines mentalen Simulationsszenarios, in dem die Folgen des eigenen Verhaltens möglichst gut antizipiert werden können, um mögliche unerwünschte Verhaltenseffekte (also Fehler), zu vermeiden¹.

Auf die Bewusstwerdung von Fehlern bezogen impliziert das SCAPE-Modell (Whittlesea, 1997), dass neben der Diskrepanz zwischen einem Ist- und einem Zielzustand Bewertungs- und Attributionsprozesse bedeutend für die Bewusstwerdung eines Fehlers sind. Bei gleichstarker Diskrepanz kann ein Fehler nicht-bewusst bleiben oder bewusst werden: Er bleibt *nicht-bewusst*, weil er im Kontext der Aufgabenbearbeitung oder der Bewertung der Diskrepanz in ein kohärentes Gesamtbild integriert werden kann; Der Fehler wird *bewusst*, weil eine Integration der Diskrepanz nicht möglich ist oder eine explizite Zuschreibung eines Fehlers naheliegt. Dabei liefert das SCAPE-Modell keine genauere Spezifizierung darüber, unter welchen Bedingungen eine Inkohärenz entsteht und welche Prozesse bei der Integration eines Konfliktes in ein mentales Gesamtbild eine Rolle spielen.

1. Anzumerken ist, dass bei Whittlesea (1997) das mentale Modell nicht notwendig bewusst ist, während bei Dehaene und Naccache (2001) das Simulationsszenario gleichbedeutend mit dem Inhalt des Bewusstseins ist.

Die vorliegende Arbeit versucht, diese offenen Punkte bezüglich der Bedingungen für die Entstehung unerwarteter Verhaltenseffekte und einer Attribution auf einen Fehler zu klären. Die zentrale Fragen der vorliegenden Arbeit sind demnach, welche Rolle Monitoring- und Attributionsprozesse bei der Bewusstwerdung von Fehlern spielen. Unter welchen Bedingungen werden fehlerhafte Reaktionen bewusst? Sind Erwartungsverletzungen notwendig und hinreichend für die Bewusstwerdung eines Fehlers oder bedarf es weitergehender Zuschreibungsprozesse? Auf welche Ebene der Verarbeitung beziehen sich die Erwartungsprozesse und welchen Bedingungen unterliegen sie? Und falls es weiterführender Attributionsprozesse bedarf, damit eine Erwartungsverletzung zu einer Fehlergewahrwerdung führt, stellt sich die Frage, ob die Attributionen in den Kontext der Aufgaben- und Stimulusbearbeitung integrierbar sein müssen oder nicht.

Um diesen Fragenkomplex zu bearbeiten, beginnt die vorliegende Arbeit im ersten Teil mit einer Beschreibung der Modelle der Fehlerforschung im Hinblick auf die Frage nach der Bewusstwerdung von Fehlern (Kapitel 1.1). Es wird dort analysiert, inwiefern das Bewusstsein in den Theorien zur Fehlerverarbeitung eine Rolle spielt.

Die Kapitel 1.2.1 bis 1.2.3 befassen sich mit dem Aspekt des Bewusstseins. Zunächst wird der Untersuchungsgegenstand „Bewusstsein“ theoretisch eingegrenzt (Kapitel 1.2.1). Dem folgt eine Analyse der Bewusstseinsmodelle aus psychologischer und neuropsychologischer Sicht (Kapitel 1.2.2). Als letztes werden Modelle vorgestellt, die konkrete Mechanismen für die Entstehung von Bewusstsein beschreiben (Kapitel 1.2.3).

In Kapitel 1.3 und 1.4 werden die besprochenen Theorien und Annahmen in ein Modell der Bewusstwerdung von Verhaltensfehlern integriert. Aus diesem ergeben sich die Fragestellung und die Hypothesen für den folgenden empirischen Teil (Kapitel 1.5).

Im zweiten Teil der Arbeit werden vier Experimente vorgestellt, deren Ziel die Prüfung der Kernhypothesen des Modells zur Bewusstwerdung von Fehlern ist. Experiment I (Kapitel 2.2) soll anhand der Beschreibung des zeitlichen Musters bemerkter und nicht bemerkter Fehler zeigen, dass der Bewusstseinszustand korrelativ mit der Verhaltensebene verknüpft ist. Im Experiment II (Kapitel 2.3) soll durch eine Manipulation der Verhaltenseffekte die Bedeutung der Verhaltenseffekte für die Fehlerdetektion geprüft werden. Experiment III (Kapitel 2.4 und 2.5) widmet sich der Bedeutung von Verhaltenserwartungen für die Fehlerdetektion. Dazu werden systematisch falsche Erwartungen evoziert. Experiment IV (Kapitel 2.6) schließlich prüft, inwieweit Attributionen bedeutsam für die Bewusstwerdung von Fehlern sind. Dazu wird systematisch der Kontext, in dem die Aufgabenbearbeitung stattfindet, manipuliert. Das Gesamte, hier entwickelte Modell, wird abschließend in Kapitel 2.7 einer multinomialen Analyse unterzogen. Abgeschlossen wird die Arbeit durch eine Diskussion (Kapitel 3).

1 Theoretischer Teil

1.1 Modelle der Fehlerverarbeitung und die Rolle des Bewusstseins beim Auftreten von Fehlern

Das folgende Kapitel beschreibt den aktuellen Stand der Fehlerforschung und analysiert, inwiefern aus den Modellen zur Fehlerforschung eine Antwort auf die Frage nach der Bewusstwerdung von Fehlern gegeben werden kann. Dabei wird aufgezeigt, dass dem Prozess der Bewusstwerdung von Fehlern in der bisherigen Fehlerforschung wenig Beachtung geschenkt wurde. Zugleich wird damit auch die Notwendigkeit aufgezeigt, den Aspekt der Bewusstwerdung in Modelle der Verarbeitung von Fehlern zu integrieren.

Das Kapitel ist so gegliedert, dass zunächst der Begriff des Fehlers definiert wird und anschließend Fehlertypen kategorisiert werden. Dem folgt ein Kapitel, das sich mit dem Prozess der Verhaltensüberwachung, dem Fehlermonitoring befasst. Welche Implikationen die unterschiedlichen Annahmen zur Verhaltensüberwachung für die Detektion von Fehlern haben, wird im darauf folgenden Kapitel thematisiert. Im abschließenden Kapitel wird beleuchtet, inwiefern in den Modellen der Fehlerforschung der Prozess der Bewusstwerdung von Fehlern eine Rolle spielt und welche Annahmen dort zur Funktion der Fehlergewahrwerdung gemacht werden.

Fehler können nach ihrem Auftreten erkannt oder unerkannt bleiben. Wir schließen auf einen erkannten Fehler, wenn ein Organismus als Folge eines Fehlers eine für den Fehler spezifische Reaktion zeigt, z.B. eine Korrekturbewegung. Die spezifische Reaktion auf einen Fehler kann dabei bewusst oder unbewusst sein. So zeigen Personen nach dem Auftreten von Fehlern Anpassungsbewegungen, die ihnen nicht notwendig bewusst sein müssen (Rabbitt, 1968).

Entsprechend der Unterscheidung von bewusster und unbewusster Reaktion auf einen Fehler wird in dieser Arbeit der Begriff *Fehlerdetektion* verwendet, um anzuzeigen, dass ein Fehler erkannt wurde, ohne das festgelegt wird, ob dies einer Person bewusst ist oder unbewusst bleibt. *Fehlergewahrwerdung* bezeichnet im Unterschied zur Fehlerdetektion die bewusste Repräsentation eines Fehlers, d.h. dass einer Person bewusst ist, dass sie einen Fehler begangen hat.

Die wenigsten Wissenschaftler aus dem Bereich der Fehlerforschung haben bisher die bewusste Gewährwerdung von Fehlern in ihre Modelle explizit integriert. Es wird in diesen Modellen also keine Unterscheidung zwischen Fehlerdetektion und Fehlergewahrwerdung getroffen. Dennoch besteht ein weites Spektrum an Vorstellungen über die Prozesse der Detektion von Fehlern, die notwendige Voraussetzung für die Gewährwerdung von Fehlern sind. Von zentraler Bedeutung ist in den Modellen der Fehlerforschung die Annahme eines Überwachungsprozesses, dessen Funktion die Entdeckung von Fehlern ist. Dieser Überwachungsprozess wird mit dem Begriff *Fehlermonitoring* bezeichnet und entsprechend die überwachende Instanz als *Fehlermonitor*.

Verhaltensfehler und deren Ursache und Funktion wurden vornehmlich in drei Forschungsbereichen untersucht²: Erstens als Regulationskomponente im Bereich des motorischen Lernens, zweitens als Fehlleistung im Sprachproduktionsprozess und drittens als Auslöser von Überwachungs- und

Kontrollprozessen und den damit verbundenen neurophysiologischen Korrelaten. In diesem Kapitel werden diese Bereiche einerseits hinsichtlich der jeweils angenommenen Rolle von Bewusstsein beim Fehlermonitoring analysiert. Dabei geht es insbesondere um die Frage, ob dem Bewusstsein eines Fehlers eine funktionale, verhaltensadaptive Bedeutung zukommt. Andererseits wird die Frage bearbeitet, wie Fehler überhaupt detektiert werden. Die grundlegende Frage ist, wie die Überwachungsprozesse unseres eigenen Verhaltens funktionieren. Schließlich stellt sich die Frage, welche Informationen zu einem Fehlermonitoring herangezogen werden.

1.1.1 Kategorisierung von Fehlern

Was ist ein Fehler und in welcher Form kann er auftauchen? Eine allgemeine Definition des *Fehlverhaltens* findet sich bei Reason:

„Fehlverhalten wird als Oberbegriff verwendet, der all die Ereignisse umfasst, bei denen eine geplante Abfolge geistiger oder körperlicher Tätigkeiten nicht zum beabsichtigten Resultat führt, sofern diese Misserfolge nicht fremdem Einwirken zugeschrieben werden können.“ (1994, S. 28).

Diese Definition enthält den Hinweis auf eine Intention im Verhalten und die Erstellung eines Handlungsplans zur Realisation dieser Absicht. Dies impliziert, dass Handlungsziele gesetzt werden. Das Fehlverhalten ist ein Ereignis, dessen Folge der Fehler, ein Zustand, ist. Der Indikator eines Fehlers, das *Fehlersignal*, ist allgemein die Differenz zwischen zwei Zuständen: Einem optimalen Zustand im Sinne eines Zielzustandes und einer Abweichung von diesem Zustand, dem aktuellen Zustand.

Auf welchen psychologisch relevanten Ebenen kann ein Fehler stattfinden? Norman (1981) entwickelte ein Rahmenmodell, das eine Typologisierung von Fehlern erlaubt, die nicht an Oberflächenkriterien modalitätsspezifisch vorgenommen wird, sondern anhand des „Ortes“ der Fehlerentstehung im Informationsverarbeitungsprozess (für eine modalitätsspezifische Fehlertypologisierung für den Bereich der Tippfehlerforschung siehe z.B. Gentner, Grudin, Larochelle, Norman & Rumelhart, 1983). Norman unterscheidet in seinem Modell Planungsfehler und Verhaltensfehler. Zum Verständnis dieser Typologisierung ist ein genauerer Blick auf das Rahmenmodell notwendig.

Das von Norman (1981) entwickelte *Aktivierungs-Auslösungs-Schema-System* (im Folgenden ATS, abgekürzt nach *activation-trigger-schema system*) beschreibt den Prozess von der Intention, ein Ziel zu erreichen, bis zur Handlungsausführung. Im ATS wird angenommen, dass der Weg von der Intention einer Handlung bis zu deren Ausführung durch die Aktivierung von Schemata realisiert wird. Diese Schemata sind in einer hierarchischen Struktur miteinander verknüpft. Schemata höherer Ordnung enthalten komplexe, übergeordnete Handlungsrepräsentationen, während tieferliegende Sche-

2. Die erste systematische Theorie zur Entstehung von Fehlern findet sich in Sigmund Freuds Werk *Zur Psychopathologie des Alltagslebens* (1954). Dieses Werk enthält eine große Sammlung von Fehlleistungen und deren psychoanalytische Interpretation. Die einzelnen Schlüsse, die Freud aus seinen Beobachtungen zieht, und die Annahmen, die er bezüglich der zugrundeliegenden psychischen Prozesse hat, sind vor dem wissenschaftlichen Hintergrund dieser Arbeit wenig interessant: Die Fehlleistungen lassen sich mit wesentlich sparsameren, kognitivistischen Gedächtnistheorien erklären, die zu einem großen Teil empirisch abgesichert sind. Dennoch bleibt anzuerkennen, dass die Methode Freuds, die Beobachtung und Sammlung von Fehlleistungen, neben dem Laborexperiment auch heute noch eine bedeutende Rolle spielt.

mata sich zunehmend stärker auf konkrete Handlungsausführungen beziehen. Über ihre Verknüpfungen können Schemata sich wechselseitig aktivieren. Eine Aktivierung kann grundsätzlich top-down, von den höchsten, globalen Schemata zu den niedrigsten, speziellen Schemata fließen, oder auch bottom-up, von den tiefer gelegenen Schemata zu den Höheren. Das höchste aktivierte Schema wird mit der Intention des Verhaltens gleichgesetzt, das tiefstgelegene Schema löst direkt das Verhalten aus. Ein Beispiel soll dies veranschaulichen: Die Intention, einen Kaffee zu kochen, aktiviert das Schema „in die Küche gehen“. Dies wiederum aktiviert ein motorisches Schema, das die Laufbewegung steuert.

Neben der Vorstellung sich wechselseitig aktivierender Schemata, nimmt Norman an, dass jedes Schema über einen Auslöser („Trigger“) verfügt. Ein Schema kann demnach zwar aktiviert werden, aber es wird erst wirksam, wenn ein Zustand erreicht wird, der den Auslösebedingungen entspricht. Diese Auslöser sollen gewährleisten, dass das Verhalten in einer bestimmten zeitlichen Ordnung ausgeführt wird.

Anhand des ATS-Modells unterteilt Norman (1981) Fehler in drei Kategorien:

1. Fehler, die bei der Bildung einer Intention entstehen.

Wenn bei der Planung des Verhaltens bereits ein Fehler entsteht, so wird dieser als Planungsfehler oder „mistake“ (Reason, 1994) bezeichnet. Die Ursache eines Planungsfehlers kann darin liegen, dass 1. die Planung unter falschen Annahmen vorgenommen wird, 2. beim Prozess des Planens ein deduktiver Denkfehler entsteht oder 3. durch eine fehlerhafte Gedächtnisleistung bei Abruf oder Einspeicherung von Informationen Folgefehler in der Planung entstehen.

2. Fehler, die auf einem falsch aktivierten Schema beruhen.

Dieser Fehlertyp kann die Folge unterschiedlicher Prozesse sein: 1. durch datengetriebene Bottom-up-Aktivierung eines Schemas, 2. durch interne Verarbeitungsprozesse, die zu Gedanken und Assoziationen führen, die ein Schema aktivieren und 3. durch Schemata, die der intendierten Handlung ähnlich sind und die bedeutend stärker gelernt und habituiert wurden und die intendierte Handlung überlagern.

3. Fehler, die auf ein fälschlich ausgelöstes Schema zurückgehen.

Wenn einzelne Komponenten der Handlung bereits gedanklich antizipiert werden, kann dadurch ein Schema zu einem falschen Zeitpunkt ausgelöst werden, wie dies bei *Spoonerismen*³ der Fall ist.

Welche Fehler stehen nun im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit? Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Tippfehlern. Diese werden im Alltag als „Flüchtigkeitsfehler“ bezeichnet. Solche Fehler entstehen, wenn eine falsche Taste gedrückt wird oder in Hast beim Schreiben ein Buchstabe ausgelassen wird. Offensichtlich sind dies Fehler, die bei der Handlungsausführung entstehen. Solche Feh-

3. Damit werden solche Fehler beschrieben, die durch das Vertauschen eines Buchstabens oder eines Wortes geschehen. Beispiele: Jemand sagt „Ich habe Dopfkröhen“ obwohl er sagen wollte „Ich habe Kopfdröhen“ oder in dem namensgebenden Verdreher des Hochschullehrers Spooner: „You have tasted the whole worm“ anstelle von „You have wasted the whole term“.

ler entsprechen den letzten beiden Kategorien der oben angeführten Fehler-Typologisierung. Diese Fehler werden als Verhaltensfehler (*slips*) zusammengefasst (Norman, 1981; Reason, 1994). Tippfehler in dem hier gebrauchten Sinn sind somit der Kategorie der Slips zuzuordnen. Insofern beziehen sich die später vorgestellten Modelle auf die Gewährwerdung von Verhaltensfehlern und deren Gültigkeit für Planungsfehler ist nicht impliziert.

1.1.2 Fehlermonitoring

Welche Prozesse bedingen die Detektion eines Fehlers und sind damit auch notwendige Voraussetzung für die Bewusstwerdung eines Fehlers? Das vorliegende Kapitel widmet sich den Prozessen der Überwachung des eigenen Verhaltens. Überwachungsprozesse haben die Funktion, Verhaltensabweichungen zu erkennen, um gegebenenfalls Kontrollprozesse auszulösen, die das Verhalten korrigieren können. Hiervon abzugrenzen sind konnektionistische Modelle, die zumeist keinen Monitoringprozess annehmen (z.B. Dell, 1983; MacKay, 1987).

Modelle, in denen ein Fehlermonitoring-Prozess berücksichtigt wird, finden sich in Theorien der motorischen Steuerung (z.B. Schmidt, 1975; Hoffmann, 1993), der neurophysiologischen Fehlerforschung (Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann & Blanke, 1991; Gehring, 1993; Holroyd & Yeung, 2003,) und in Modellen der Sprechfehlerforschung (Levelt, 1983; Levelt, Roelofs & Meyer, 1999; Schlenk, Huber & Wilmes, 1987).

Zunächst soll das Konzept der Rückkopplungsschleife als grundlegendes Prinzip von Fehlermonitoring-Prozessen erläutert werden. Dem schließt sich die Frage an, was überhaupt in einem Monitoringprozess überwacht und verglichen wird. Es folgt eine Diskussion der kontroversen Frage, auf welchen Ebenen der Verhaltenssteuerung Monitoringprozesse implementiert sind. Diese Frage wird vor allem in der Sprechfehlerforschung diskutiert: Sind Fehlermonitoring-Prozesse innerhalb der einzelnen Produktionsmodule des Verhaltens bzw. der Sprache eingebettet und damit hoch spezialisiert auf das spezifische Modul zugeschnitten (Schlenk et al., 1987) oder sind es unspezialisierte Monitoringprozesse, die die Effekte des selbstproduzierten Verhaltens wahrnehmen und mit den erwarteten Effekten vergleichen (Levelt, 1983; Oomen & Postma, 2001; Oomen, Postma & Kolk, 2001)? Zuletzt wird diskutiert, ob der Aspekt der Verhaltensüberwachung sich neurophysiologisch lokalisieren lässt. Dazu werden neurophysiologische Modelle der Konfliktverarbeitung und Handlungskontrolle dargestellt.

1.1.2.1 Rückkopplungsschleifen in der Verhaltenssteuerung

Die meisten der hier vorgestellten Theorien nehmen ausdrücklich an, dass zur Detektion von Abweichungen oder Fehlern im Verhalten ein Vergleich zwischen „Soll“- und „Ist“- Wert in einem eigens dazu vorgesehenen Verarbeitungsmodul stattfindet, oder dass es zumindest einen identifizierbaren Prozess der Fehlerverarbeitung gibt. Die Annahme solcher Überwachungsprozesse entstand mit der Etablierung des Informationsverarbeitungsansatzes in der kognitiven Psychologie und der Implementierung von Rückkopplungsschleifen in den Modellen der Verhaltenssteuerung.

Bis in die Mitte des 20. Jh. waren die Modelle zur Verhaltenssteuerung von der Vorstellung einer *Open-Loop* dominiert. Die Planung einer Reaktion findet demnach vollständig vor der gezeigten

Reaktion statt. Solche Bewegungen werden auch als „ballistische Bewegungen“ bezeichnet: Nach dem Start der Bewegung kann diese durch keinen weiteren Rückkopplungsprozess oder Kontrollprozess beeinflusst werden. Komplexe Verhaltensabläufe, z.B. das Spielen eines Musikstückes, wurden über den Prozess des *Serial Chaining* (Ebbinghaus, 1992/1892; Greenwald, 1970) erklärt, bei dem eine Reaktion als Stimulus für eine weitere Reaktion dient⁴, z.B. wenn ein Klavierspieler eine Melodie spielen möchte, so beginnt er mit dem ersten Tastendruck. Das Drücken der ersten Taste löst dann den zweiten Tastendruck aus und so weiter.

Die Grenzen der Erklärungskraft der Open-Loop-Modelle zeigte sich bei Bewegungen, die weitgehend ungeübt und langsam sind (Schmidt, 1975). Bei solchen Bewegungen zeigen sich Korrektur und Anpassungsbewegungen während der Bewegungsausführung (Adams, 1971). Um diese Korrekturprozesse erklären zu können, muss davon ausgegangen werden, dass das ausgeführte Verhalten in irgendeiner Weise in der Verhaltenssteuerung berücksichtigt wird. Mit der Vorstellung des menschlichen Geistes als Informationsverarbeitungssystem wurde die Vorstellung von Rückkopplungsschleifen eingeführt, die der Kontrolle des Verhaltens dienen. Die darauf aufbauenden *Closed-Loop-Modelle* unterscheiden sich von den *Open-Loop-Modellen* dadurch, dass in ihnen angenommen wird, dass die Effekte eines Verhaltens über Rückkopplungsschleifen wieder in das motorische Kontrollsystem eingespeist und mit dem Zielzustand der geplanten Bewegung verglichen werden. Das Ergebnis dieses Vergleiches dient der Korrektur, Weiterführung oder Abbruch des Verhaltens sowie der Ausdifferenzierung und Adjustierung der Verhaltensprogramme (Reason, 1994).

Die erste systematische und experimentell überprüfbare Closed-Loop-Theorie wurde von Adams (1971) aufgestellt. Dieses Modell beschreibt Steuerungsprozesse bei langsamen, kontinuierlichen Bewegungen, die auf ein bestimmtes Ziel gerichtet sind. Es beantwortet die Frage, wie solche Bewegungsabläufe kontrolliert und adjustiert werden. Adams stellte ein Modell auf, dessen Vorhersagen prüfbar waren, vor allem bezüglich der Fehlerkorrektur und der Wirkung von Ergebnissrückmeldungen (KOR von *Knowledge of Result*). Schmidt (1975) verband das Modell von Adams mit dem Konzept motorischer Schemata (vgl. Greenwald, 1970), die Verhaltensprogramme und deren Evaluationskriterien in einer Wissensseinheit repräsentieren. Zudem erweiterte er die Gültigkeit der Closed-Loop-Theorien auf schnelle und diskrete Bewegungen.

Kern der Schematheorie von Schmidt (1975) ist das *Motor-Response-Schema*, das sich wiederum aus verschiedenen Subschemata zusammensetzt. Das Besondere an dem motorischen Schema ist, dass in ihm nicht nur eine abstrakte Repräsentation eines Bewegungsablaufes gespeichert wird, sondern auch die Effekte, die eine Bewegung begleiten bzw. ihr folgen. Schmidt nimmt an, dass zu jeder ausgeführten Bewegung deren Ausgangsbedingungen, die motorische Spezifikation der Bewegung, die propriozeptiv und exterozeptiv erfahrenen Konsequenzen der Bewegungsausführung und der Erfolg der Bewegung (KOR) abgespeichert werden. Nachdem eine gewisse Anzahl an Instanzen akkumuliert wurde, d.h. nachdem die Bewegung mehrfach ausgeführt wurde, werden deren Gemeinsamkeiten sowie die Relationen der einzelnen Elemente des Bewegungsablaufes zueinander abstrahiert und in Form eines Schemas enkodiert⁵.

4. Genau genommen kann dies bereits als eine Rückkopplungsschleife interpretiert werden. Diese hat aber keine steuernde und korrigierende Funktion für das Verhalten.

Entsprechend der Unterscheidung zwischen der Speicherung des Bewegungsprogramms einerseits und den sensorischen Effekten des Verhaltens andererseits unterteilt Schmidt (1975) ein motorisches Schema in zwei Subschemata. Das *Recall-Schema* beinhaltet das motorische Programm sowie Verknüpfungen vergangener Verhaltensergebnisse und vergangener Parameterspezifikationen⁶. Im Recall-Schema ist kodiert, unter welchen Bedingungen welche Bewegung ausgeführt werden muss, um ein Ziel zu erreichen. Es stellt das eigentliche motorische Programm dar, das das Verhalten steuert. Im *Recognition-Schema* wird das Ergebnis eines vergangenen Verhaltens zusammen mit dessen sensorischen Konsequenzen gespeichert. Es enthält also Informationen über Propriozeptionen und Exterozeptionen, die mit einem bestimmten Verhaltensergebnis assoziiert sind.

Wie kann man sich nun den Prozess der Handlungsausführung und -steuerung aufbauend auf einem Recall- und Recognition-Schema vorstellen? Anhand des angestrebten Zielzustandes und den gegebenen Ausgangsbedingungen wird vom Recall-Schema ein motorisches Programm aktiviert. Zugleich wird in einem *Feed-Forward-Prozess* eine Efferenzkopie an das Recognition-Schema weitergegeben. Das Recognition-Schema generiert die zu erwartenden sensorischen Konsequenzen und leitet diese an die Monitoringprozesse für Propriozeptionen und Exterozeptionen weiter. Hier werden diese Erwartungswerte mit den rückgekoppelten Effekten an den Sinnesorganen (Exterozeptionen) und den Effektoren (Propriozeptionen) verglichen. Dadurch kann das Verhalten zum einen korrigiert und aufrechterhalten werden, zum anderen werden neue Erfahrungswerte gebildet, die das Motor-Response-Schema optimieren. Nach Schmidt (1975) verläuft die Verhaltenssteuerung und -korrektur also zum einen über Rückkopplungsschleifen, die die Effekte des eigenen Verhaltens an einen Monitoringprozess zurückmelden, und zum anderen über den Vergleich dieser Rückmeldungen mit vergangenen sensorischen Effekten, die ein ähnliches Verhalten begleiteten.

Die Voraussetzung für die Gültigkeit der Schematheorie ist die Annahme einer Abstraktion einzelner Erfahrungsinstanzen zu einem Schema. Wie aber verläuft die Abstraktion zu einem motorischen Schema? Voraussetzung für die Schemabildung ist die Festlegung eines Kriteriums, das bestimmt, welche Bewegungen zu einem gemeinsamen Schema abstrahiert werden sollen und welche nicht zueinander gehören. Naheliegend scheint ein Kriterium der Ähnlichkeit zu sein, nach dem solche Instanzen zusammengehören, die sich ähnlich sind. Dadurch wird das Problem aber lediglich verschoben, denn es stellt sich sogleich die Frage, bezüglich welchen Indikators eine Ähnlichkeit bestehen soll (vgl. Hoffmann, 1993). Legt man die Ähnlichkeit in der motorischen Spezifikation zugrunde, zeigt sich das Problem, dass ein und die gleiche Bewegung sich auf unterschiedliche Verhal-

5. Das motorische Schema ist eine Adaptation des Konzeptes der Prototypen aus der Forschung zum kategorialen Lernen (Posner & Keele, 1970). Eine alternative Sichtweise zum Konzept des Schemas liefert das Modell der spezifischen Exemplare (*Specific exemplar model*, Brooks, 1978; Medin und Shaffer, 1978). Dort wird angenommen, dass jede Erfahrung zusammen mit einer Kategoriebezeichnung als einzelne Instanz abgespeichert wird. Wenn ein neuer Stimulus einer Kategorie zugeordnet werden soll, so wird dieser Stimulus mit den Instanzen im Langzeitgedächtnis verglichen und dann der entsprechenden Kategorie zugeordnet. Chamberlin und Magill (1992) konnten zeigen, dass bei der Ausführung neuer Bewegungen die Ähnlichkeit zu den zugrundeliegenden Prototypen gelernter Bewegungen entscheidend ist und die konkreten Instanzen der ursprünglich gelernten Bewegungen keine Rolle spielen (vgl. aber auch McCracken & Stelmach, 1977).

6. Parameterspezifikation bezeichnet hier die Stärke der Ausprägung der Variablen einzelner Bewegungsabläufe. Eine Schlagbewegung beim Tennisspiel kann schnell oder langsam, in einem weiten Winkel oder einem kurzen Winkel u.s.w. ausgeführt werden. Die Festlegung der Ausprägungen bei einer konkreten Bewegung ist die Spezifikation der Parameter.

tensergebnisse beziehen kann (z.B. das Rühren in einem Farbtopf oder das Kurbeln einer Kaffeemühle). Solche Bewegungen zu einem Schema zu abstrahieren, ist sinnlos, insbesondere wenn dem Schema, wie im Recall-Schema vorgesehen, ein eindeutiges Verhaltensergebnis zugeordnet werden muss.

Legt man andererseits die Ähnlichkeit in den Verhaltensergebnissen für die Schemaabstraktion zugrunde, zeigt sich das Problem, dass dem gleichen Verhaltensergebnis unterschiedliche Bewegungen vorausgehen können (z.B. der Mausklick oder der Tastendruck, um ein Menü eines Computerprogramms aufzurufen). Auch hier ist es sinnlos, ein motorisches Schema zu abstrahieren. Das Problem wird noch dadurch erschwert, dass die Schematheorie davon ausgeht, dass Recall- und Recognition-Schemata getrennt voneinander abstrahiert werden und die soeben aufgezeigten Probleme der Bildung eines Recall-Schemas sich ebenfalls für die Bildung des Recognition-Schemas zeigen lassen.

Dies wirft ein grundsätzliches Problem auf: Wie sollen kohärente Erwartungen über den Effekt eines Verhaltens aufgebaut werden, wenn kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Verhalten und Verhaltenseffekten hergestellt werden kann? Die Schematheorie von Schmidt (1975) scheitert an diesem Punkt, weil sie annimmt, dass zunächst das Verhaltensziel gebildet wird, welches das Verhaltensprogramm (Recall-Schema) und die zu erwartenden Verhaltenseffekte (Recognition-Schema) getrennt aktiviert. Dies führt zu der oben beschriebenen Mehrdeutigkeit in der Verknüpfung zwischen Verhalten und Verhaltenseffekt. Muss damit die Annahme einer Steuerung des Verhaltens über die antizipierten Effekte und deren Vergleich mit den tatsächlichen Effekten eines Verhaltens verworfen werden?

1.1.2.2 Ist- und Sollwert: Was wird im Monitoring verglichen?

Norman (1981) erkannte ebenfalls das Problem der Verknüpfung von Verhaltensziel und Verhaltenseffekt. Wie Schmidt nimmt auch Norman Rückkopplungs- und Monitoringprozesse zur Verhaltenssteuerung an (siehe auch Kapitel 1.1.1). Dabei stellt sich aber für ihn das Problem, dass die Spezifikation der Intention und die Bewegung selbst auf unterschiedlichen Ebenen liegen und nicht miteinander vergleichbar sind. Aufgrund der reinen Beobachtung einer Greifbewegung kann nicht geschlossen werden, ob die Absicht, einen Kaffee zu kochen, erfolgreich abgeschlossen wurde oder nicht. Norman, der von einer hierarchischen Schemata-Struktur ausgeht, nimmt daher an, dass auf jeder Schemata-Ebene prinzipiell ein Monitoringprozess implementiert ist, der Diskrepanzen auf dieser Ebene entdecken kann. Eine Diskrepanz kann nur dann als Fehler wahrgenommen werden, wenn sie auf die Ebene der Verhaltensintention zurückgeführt werden kann. Möchte beispielsweise ein Autofahrer langsamer fahren und hierzu einen Gang herunterschalten, löst dies eine Reihe motorischer Schemata aus. Beim Treten der Kupplung entsteht eine Diskrepanz, z.B. weil die Kupplung sich weiter durchtreten ließ als erwartet. Dies lässt aber keinen direkten Schluss auf die Korrektheit der Handlungsabsicht zu, die zum Treten der Kupplung führte: Aufgrund der unerwarteten Leichtigkeit des Tretens der Kupplung kann nicht geschlossen werden, ob das gesamte Verhaltensprogramm „langsamer fahren“ korrekt ausgeführt wurde.

Norman kann das Problem der Verknüpfung von Verhaltensabsicht und Verhaltenseffekt lösen, es bleibt aber unklar, wie es überhaupt zur Erkennung oder gar Gewährwerdung von Verhaltensfehlern kommen kann. Nur Abweichungen auf der „obersten“ Schema-Ebene können als Fehler erkannt werden, da nur die oberste Ebene für intentionale und bewusst kontrollierte Steuerungsprozesse zugänglich ist. Abweichungen auf einer niedrigeren Ebene können automatische Verhaltenskorrekturen auslösen, führen aber nie direkt zu einer Bewusstwerdung von Fehlern, da die tiefergelegene Ebenen der Verhaltenssteuerung keine direkte Zugänglichkeit zum Bewusstsein besitzen.

Ein alternatives Modell zur Verhaltenssteuerung, das die Probleme der Schematheorie von Schmidt löst und zugleich keine starken Restriktionen an den Prozess eines Fehlermonitorings legt, wurde von Hoffmann (1993) mit der Theorie der *antizipativen Verhaltenssteuerung* vorgelegt. Hoffmann geht wie Schmidt (1975) davon aus, dass die Steuerung motorischer Prozesse auf der Auswertung vergangener Erfahrungen beruht, indem festgehalten wird, welche Bewegungen bei welchen Ausgangsbedingungen zu welchen Konsequenzen führen. Anders als Schmidt geht Hoffmann allerdings nicht davon aus, dass motorische Kommandos und propriozeptive/exterozeptive Folgen getrennt voneinander abstrahiert werden. Vielmehr liegt dem Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung zugrunde, dass durch die Antizipation der sensorischen Folgen die motorischen Prozesse initiiert werden, die in der Vergangenheit unter gegebenen Ausgangsbedingungen zum gewünschten Zielzustand führten.

Dem Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung folgend, ist die Grundvoraussetzung für den Aufbau eines Verhaltensprogramms der Vergleich zwischen realen und antizipierten Folgen des Verhaltens. Das Ergebnis dieses Vergleichs dient der Ausdifferenzierung von Klassen (oder Schemata) von Zielzuständen, Ausgangsbedingungen und den damit assoziierten propriozeptiven und exterozeptiven Folgeeffekten. Der entscheidende Unterschied zu Schmidts Schematheorie besteht darin, dass keine motorischen Spezifikationen in einem Schema abgespeichert werden, was in Schmidts Terminologie der Bildung eines Recall-Schemas entsprechen würde. Das motorische Programm ist mit den einzelnen Klassen der Ausgangsbedingungen und der zu erreichenden Ziele assoziativ verknüpft.

Das Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung löst das Problem der Ambiguität in der hierarchischen Struktur zwischen Recall-Schema und Recognition-Schema (Schmidt, 1975) und liefert eine Antwort auf die Frage, nach welchen Kriterien verschiedene Erfahrungen zu einem Schema abstrahiert werden. Entscheidend für die in dieser Arbeit besprochene Thematik der Fehlerdetektion und -gewährwerdung ist, dass dem Monitoring von antizipierten und realen Verhaltenseffekten eine entscheidende Funktion bei der Verhaltenssteuerung zugeschrieben wird. Welche Art von Verhaltenseffekten werden aber für ein Verhaltensmonitoring herangezogen: Sind dies distale oder proximale Effekte des Verhaltens?

Eine Antwort auf diese Frage liefert die *Theorie der Kodierung von Ereignissen* (folgend TEC nach *Theory of Event Coding*; Hommel, Müsseler, Aschersleben & Prinz, 2001). Die TEC ist eine Weiterentwicklung des *Common-Coding-Ansatzes* (Prinz, 1990). Grundgedanke der TEC ist, dass Wahrnehmung und Handlung in einem „Ereignis“ gemeinsam abgespeichert werden. Diese gemein-

same Kodierung erfolgt auf der Ebene *distaler* Repräsentationen des Verhaltens und der wahrgenommenen Verhaltenseffekte.

Aus Sicht der TEC ist zum einen Wahrnehmung kein passiver Prozess, sondern abhängig von der Steuerung der Sinnesorgane und der Ausrichtung von Aufmerksamkeit. Zum anderen ist die Handlungsplanung abhängig von der Wahrnehmung externer Bedingungen, die als Ausgangsbedingungen die Auswahl und Nutzung motorischer Programme steuern. Wahrnehmung und Handlungsplanung interagieren also stark miteinander und repräsentieren den Stimulus und das Ergebnis sensomotorischer Koordinationsprozesse (Hommel et al., 2001). Wahrnehmungsmuster und motorische Verhaltensprogramme werden somit nicht in getrennten Gedächtnisbereichen kodiert und gespeichert. Kodierung und Speicherung findet in einer Struktur statt, die als Ereignisse (*Events*) bezeichnet wird. In diesen sind sensorische und motorische Informationen nicht trennbar. Demnach gibt es nach Hommel et al. keinen konzeptuellen Unterschied zwischen der Antizipation eines Wahrnehmungsereignisses mit der darauf folgenden Handlungsplanung und der tatsächlichen Wahrnehmung eines Ereignisses, dem als Reaktion die Ausführung eines Handlungsplans folgt. Dies führt zu dem Schluss, dass eine intentionale Handlung durch die Antizipation ihrer Verhaltensfolgen initiiert wird. Diese Vorstellung steht im Einklang mit dem Modell der *ideomotorischen Handlungssteuerung* von James (1890) sowie dem zuvor besprochenen Modell der *antizipativen Handlungssteuerung* von Hoffmann (Hoffmann, 1993; Kunde, Hoffmann & Zellmann, 2002).

Aus der Annahme der gemeinsamen Kodierung von Verhalten und Wahrnehmung folgt eine Antwort auf die Frage, ob die erwarteten Effekte eines Verhaltens distal oder proximal repräsentiert sind. Um das Problem der Inkommensurabilität⁷ der Verhaltens- und der Wahrnehmungsmodalität (Prinz, 1992; Hoffmann, 1993) zu vermeiden, müssen Verhalten und Wahrnehmung distal repräsentiert sein (Hommel et al. 2001). Das Problem der Inkommensurabilität stellt sich folgendermaßen dar: Verhaltensprogramme übertragen sich auf die Effektoren durch Efferenzen, die aus Spannungspotenzialen bestehen. Diese variieren Intensität und Dauer einer Muskelspannung. Äußere Objekte hingegen lösen proximale Erregungspotenziale an den Rezeptoren der Sinnesorgane aus, was dazu führt, dass diese Objekte im späteren Wahrnehmungsprozess durch Eigenschaften ihrer räumlichen Position, Ausdehnung, Farbe etc. repräsentiert werden. Die von Hommel et al. dargestellte prinzipielle Gleichförmigkeit von Wahrnehmung und Verhalten kann nur unter der Annahme aufrechterhalten werden, dass die Kodierung auf einer gemeinsamen *distalen* Ebene stattfindet. Versucht beispielsweise eine Person, eine Tasse zu greifen, so kann die Tasse als Stimulus betrachtet werden und die Greifbewegung als Reaktion. Stimulus und Reaktion sind dann kommensurabel, wenn sie als Entfernung zur eigenen Person (die Tasse in ihrer Position und die Armbewegung in ihrer Bewegungslänge) und der Ausdehnung (die Tasse in ihrer Breite und die Greifbewegung in der Weite der geöffneten Hand) repräsentiert werden.

Diese Sichtweise der TEC enthält entscheidende Implikationen bezüglich der Art der Informationen, die in einem Monitoringprozess miteinander verglichen werden können. Die erwarteten Verhaltenseffekte müssen abstrakt repräsentiert sein - oder anders formuliert: Sie sind nicht auf direkte,

7. Nicht durch das gleiche Maß messbar.

sensorisch wahrnehmbare Folgen des Verhaltens beschränkt, sondern können indirekte Folgen des Verhaltens, aber auch abstrakte zeitliche Repräsentationen, wie Rhythmus oder auch Folgen in sozialen Interaktionen, beinhalten. In dieser Hinsicht unterscheidet sich auch die Theorie der antizipativen Verhaltenssteuerung (Hoffmann, 1993) von der TEC. Erstere löst das Problem der Inkommensurabilität, indem Effektantizipationen als Reafferenzen repräsentiert werden. Ein Abgleich erfolgt also zwischen den realen Reafferenzen eines Verhaltens und den antizipierten Afferenzen (Erfahrungen vergangener Reafferenzen; Kunde et al., 2002). Damit beschränkt sie die Wahrnehmung einer Erwartungsverletzung auf Abweichungen sensorischer Informationen. Die Theorie der antizipativen Verhaltenssteuerung nimmt also eine *proximale* Repräsentation an, die TEC eine *distale*.

Ob das Problem der Inkommensurabilität in der Argumentation zum Common Coding Ansatz (Prinz, 1990, 1992) überhaupt gültig ist, wurde von Bischof (1995) bezweifelt. Bischof argumentiert, dass das Problem der Inkommensurabilität an dieser Stelle ein Scheinproblem ist, das aus der Vermengung verschiedener Betrachtungsebenen entsteht: Der *organetischen* (bezüglich physikalischer, stofflicher Eigenschaften) und der *semantischen* (bezüglich der Bedeutung von Zeichen). So ist es sehr wohl möglich, dass Efferenzen und Afferenzen direkt interagieren. Beide Potenziale sind kommensurabel, da sie beide auf elektrische Spannungspotenziale aufbauen und damit mit dem gleichen Maß messbar sind. Ohne Kommensurabilität auf organetischer Ebene könnte das Gehirn nicht funktionieren. Im Kontext der unterschiedlichen Repräsentation auf semantischer Ebene hingegen ist der Begriff der Inkommensurabilität jedoch sinnlos, da jede dieser semantischen Repräsentationen auf zugrundeliegenden organetischen Zuständen basiert (z.B. Spannungspotenziale in Nervenbahnen), welche wiederum, wie eben beschrieben, kommensurabel sein müssen. Eine Inkommensurabilität entsteht auch dann nicht, wenn motorische Prozesse als Efferenzen beschrieben werden, während Wahrnehmungsprozesse als Repräsentationen dargestellt werden, da dabei unzulässig organetische und semantische Ebene vermengt würden.

Trotz der Kontroverse über die Kommensurabilität der Kodierung bzw. der Repräsentation von Verhalten und Wahrnehmung wird bezogen auf das Fehlermonitoring eine entscheidende Frage deutlich: Auf welcher Strukturebene findet der Vergleich zwischen Wahrnehmungen, Verhalten und erwarteten Verhaltenseffekten statt? Legt eine Person beispielsweise einen Lichtschalter um, wird dann ein Erregungspotenzial an den Photorezeptoren als Afferenz erwartet, oder wird eine Aktivierung des Konzeptes für „Es wird hell“ oder „Die Lampe ist angeschaltet“ erwartet? Auf den ersten Blick scheint die Antwort naheliegend, dass beide Ebenen eine Rolle spielen. Hier ist wiederum Vorsicht geboten, denn dies impliziert einen unzulässigen Vergleich von organetischer und semantischer Ebene. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass sich eine abstrakte Regelmäßigkeit oder gar ein Modell für die Generierung von Assoziationen und anderen Operationen finden lässt, das sowohl auf organetischer als auch auf semantischer Ebene gültig ist. Damit zeigt sich die Notwendigkeit, eine Theorie zu schaffen, die keinen Wechsel in den Strukturebenen vornimmt⁸.

8. Ausgeschlossen davon sind solche Theorien, die explizit eine Aussage zur Überführung der beiden Ebenen machen wollen. Diese müssen dann notwendigerweise eine Perspektive einnehmen, die außerhalb der beiden zu überführenden Ebenen steht.