

MARTIN HEIL

Handelt es sich bei der Aktivierung von Wortbedeutung um einen automatischen Prozess?

Eine der grundlegenden Fragen der experimentellen Psychologie, die seit ihren Anfängen intensiv beforscht wird, lautet, wie Information im Gedächtnis gespeichert und abgerufen wird.¹ Die Bedeutung dieser Forschungsfrage wird uns bewusst, sobald wir uns überlegen, welches Verhalten wir denn eigentlich noch erfolgreich ausüben würden, wenn wir nicht mehr auf unser Gedächtnis zurückgreifen könnten.

Die experimentelle Psychologie ist im Laufe ihrer Geschichte sehr stark von Nachbar-disziplinen beeinflusst worden, nicht zuletzt auch einerseits aus der Neuropsychologie bzw. den Neurowissenschaften sowie andererseits aus dem Bereich der Kognitionspsychologie und insbesondere der Forschung zur Künstlichen Intelligenz. Ein neurowissenschaftlicher Ansatz der Gedächtnisforschung beschäftigt sich maßgeblich mit der Frage nach den beteiligten Hirnstrukturen² und versucht somit, den Fortschritt der Forschung über die Lokalisationsfrage (die Frage nach dem „wo“) voranzutreiben. Bei einem kognitionspsychologischen Ansatz wie auch bei der Künstlichen Intelligenzforschung steht hingegen die Frage nach der Funktionsweise im Vordergrund (die Frage nach dem „wie“). Wir werden auf diese Unterscheidung am Ende des Beitrages noch einmal zurückkommen, wenn wir versuchen zu verdeutlichen, warum die hier beschriebene Forschung, obwohl sie Methoden der Neurowissenschaften verwendet, klar dem funktionalen Ansatz der experimentellen Kognitionspsychologie zuzuordnen ist.

Künstliche Intelligenz hat wenig mit Computertechnologie zu tun, sondern vielmehr mit abstrakten Prinzipien der mentalen Organisation. Ein Blick auf das von Alan Turing³ 1950 vorgeschlagene Kriterium, anhand dessen entschieden werden soll, ob Maschinen denken können, verdeutlicht diesen Sachverhalt sowie die Nähe der Künstlichen Intelligenzforschung zur Kognitionspsychologie. Alan Turing, enttäuscht über fruchtlose Diskussionen in Bezug auf das, was wir unter „denken“ und „intelligent“ verstehen, schlug vor, das Begriffsproblem beiseite zu lassen und stattdessen einen von ihm konzipierten Test zu nutzen, um sich sodann auf die „wichtigen Probleme“ der der Intelligenz zu Grunde liegenden Strukturen und Prozesse zu konzentrieren.

Turings Test basiert auf einem so genannten Imitationsspiel. Es wird von drei Teilnehmern gespielt, die sich gegenseitig nicht kennen. Zwei von ihnen, ein Mann und eine Frau, sind Zeugen; der dritte Spieler, der Fragesteller, soll nun lediglich durch Fragen erraten, wer der Mann und wer die Frau ist. Der Trick dabei ist, dass einer der Zeugen (sagen wir, der Mann) versucht, den Fragesteller zu täuschen, indem er systematisch so tut, als ob er die Frau wäre, während die Frau alles daran setzt, dem Fragesteller zu helfen. Kann der Fragesteller die Zeugen korrekt zuordnen, hat die Frau, im anderen Fall hat der Mann

¹ Vgl. Neath und Suprenant (2002).

² Vgl. Rösler und Heil (2003).

³ Vgl. Turing (1950).

gewonnen. Um alle äußeren Anhaltspunkte auszuschließen, werden die Fragen und Antworten per Fernschreiber übermittelt. Bis jetzt sind also keine Computer im Spiel. Turings Idee aber war es, den männlichen Zeugen durch einen Computer zu ersetzen, um herauszufinden, ob dieser einen Fragesteller genauso effektiv täuschen kann. Gelingt dies, „besteht“ der Computer den Test, und wir müssen ihm Intelligenz zuschreiben.

Worum geht es in diesem Test? Das ganze Drum und Dran mit dem Fernschreiber, der Täuschung des Fragestellers usw. ist natürlich nur pseudoexperimentelle Augenwischerei. Worauf es wirklich ankommt, ist die Kommunikation, und um diese bestehen zu können, muss der Computer *Wissen* besitzen.

Somit ist selbst die banalste Kommunikation ohne massivsten Rückgriff auf die Repräsentationen und die Prozesse des Gedächtnisses nicht möglich. Der Turing-Test lässt sich dabei von der Maxime der *funktionalen Äquivalenz* leiten, d. h., es geht darum, dass die Maschine in ihrem beobachtbaren Verhalten dem Menschen funktional äquivalent auftritt, also die von ihr generierte Input-Output-Relation von der eines Menschen nicht zu unterscheiden ist. Irrelevant ist in diesem Falle hingegen die Frage der Implementierung, d. h. der physikalischen Realisation auf der Basis von Neuronen und Synapsen oder von Chips und Prozessoren.

Nun sind innerhalb der Kognitionspsychologie diverse unterschiedliche Gedächtnismodelle mit mehr oder weniger starkem Bezug zur Forschung der Künstlichen Intelligenz entstanden,⁴ ohne dass dies zu einer Maschine geführt hätte, die den Turing-Test bestehen könnte. Eine der Aufgaben der experimentellen Kognitionspsychologie ist darin zu sehen, diese Modelle als Theorien menschlicher Informationsverarbeitung zu testen (im Gegensatz zu einem Ansatz der Anwendungsforschung, der diese Modelle optimieren wollte). Eine Grundannahme, die bis vor kurzem als Konsens innerhalb der Kognitionspsychologie angesehen wurde, postuliert beispielsweise eine automatische Aktivierungsausbreitung⁵ innerhalb eines assoziativ organisierten Gedächtnisnetzwerkes⁶.

In einem solchen Netzwerk repräsentiert jeder Knoten ein Wortkonzept, d. h. die von einem konkreten Wort abstrahierte Bedeutung. Assoziationen zwischen Konzepten werden als Kanten in diesem Netzwerk verstanden. Die Stärke einer Assoziation wird bedingt durch Variablen wie Häufigkeit der Benutzung, Alter der letzten Benutzung usw. Beim Lesen eines Wortes (oder auch bei einem Gedanken) wird das entsprechende Konzept aktiviert. Entsprechend der oben genannten Grundannahme wird nun davon ausgegangen, dass sich die Konzeptaktivierung entlang der Kanten zu assoziierten Konzepten ausbreitet. Beim Lesen des Wortes *Hund* wird z. B. das Wortkonzept HUND aktiviert, wobei sich die Aktivierung entlang der Kanten u. a. zum Konzept KATZE ausbreitet. Beim Lesen des Satzes „Die beiden sind wie Hund und Katze“ ist das Konzept von KATZE nach dieser Annahme schon in einem voraktivierten Zustand, bevor das Wort überhaupt gelesen wird.

Wenn in der Kognitionspsychologie nun davon ausgegangen wird, dass dieser Prozess der Aktivierungsausbreitung innerhalb eines assoziativ organisierten Gedächtnisnetzwerkes als ein automatischer zu verstehen ist, stellt sich umgehend die Frage, welche Kriterien hierfür denn erfüllt sein müssen. In der experimentellen Psychologie werden dazu

⁴ Vgl. Solso (2000).

⁵ Vgl. Neely und Kahan (2001).

⁶ Vgl. Anderson (1983).

eine ganze Reihe genannt,⁷ wir wollen uns aber auf drei zentrale Aspekte beschränken: Ein automatischer Prozess sollte ohne Bewusstheit ablaufen können, er sollte ohne Aufmerksamkeitszuwendung ablaufen können und er sollte schließlich nicht unterdrückbar sein. Die Gültigkeit dieser drei Aspekte ist in jüngster Forschung in Frage gestellt worden, was dazu geführt hat, dass die Annahme der Automtizität semantischer Aktivierung als Mythos bezeichnet worden ist.⁸ Im Folgenden werden wir zuerst das experimentelle Paradigma der semantischen Bahnung erläutern, mit dem sich u. a. die Voraktivierung von Konzeptrepräsentationen durch sich ausbreitende Aktivierung untersuchen lässt, um dann experimentelle Daten zu betrachten, die diese Aspekte der Automtizität genauer herausstellen.

Das Paradigma der semantischen Bahnung

Werden kurz nacheinander zwei Wörter dargeboten, so zeigt sich ein deutlicher Verarbeitungsvorteil des zweiten Wortes (der so genannten Probe), falls dieses mit dem ersten Wort (dem so genannten Prime) assoziiert ist.⁹ Um bei obigem Beispiel zu bleiben: Es kommt zu einer Erleichterung der Verarbeitung des Wortes *Katze*, wenn dieses auf *Hund* folgt, als wenn es nach *Beil* erscheint. Dieser Verarbeitungsvorteil zeigt sich in unterschiedlichen abhängigen Verhaltensmaßen, z. B. in kürzeren Benennungslatenzen, niedrigeren Wahrnehmungsschwellen oder kürzeren lexikalischen Entscheidungszeiten (d. h. bei der Entscheidung, ob es sich bei einer Buchstabenfolge um ein Wort handelt oder nicht). Diese Maße haben allerdings den Nachteil, dass sie von den Probanden eine explizite Reaktion verlangen, was die Überprüfung der oben genannten Kriterien der Automtizität eines kognitiven Prozesses unter Umständen erschweren kann. Daher eröffnet die Beobachtung, dass sich semantische Bahnung auch in neurophysiologischen Parametern des Elektroenzephalogramms (EEG) abbildet, interessante Möglichkeiten.

Das EEG wird non-invasiv durch Elektroden auf der Kopfhaut erfasst. Die gemessenen elektrischen Potenziale spiegeln dabei die summierte neuronale Aktivität eines bestimmten Gehirnbereiches wider¹⁰ und können mit Ereignissen, etwa dem Erscheinen eines Wortes auf dem Bildschirm, zeitlich exakt in Beziehung gesetzt werden (wodurch so genannte Ereigniskorrelierte Potenziale, oder EKPs, entstehen).¹¹ Im Gegensatz zum Verhalten, das sich erst als Folge bereits abgelaufener neuronaler Verarbeitungsschritte ergibt (oder ergeben kann), geben EKPs die Hirnaktivität während dieser Verarbeitung wieder, und zwar unabhängig davon, ob diese zu offenem Verhalten führen oder nicht.

Die Verarbeitung der Bedeutung eines Wortes lässt sich sehr spezifisch an einem bestimmten EKP, der so genannten N400, ablesen.¹² Bei Präsentation des physikalisch identischen Wortes variiert das Potenzial etwa 400 Millisekunden nach Darbietung in charakteristischer Weise: Je semantisch unähnlicher das Wort zu einem zuvor dargebotenen Wort ist, desto negativer ist das elektrische Potenzial. D. h., folgt *Katze* auf *Beil*, findet sich

⁷ Vgl. Posner und Snyder (1975), Kahnemann und Chajczyk (1983), Neumann (1984) sowie Neely und Kahan (2001).

⁸ Vgl. Stolz und Besner (1999).

⁹ Vgl. Neely (1991).

¹⁰ Vgl. Heil und Rösler (2000).

¹¹ Vgl. Rösler und Heil (1998).

¹² Vgl. Osterhout und Holcomb (1995).

eine Negativierung im Vergleich zu *Katze* nach *Hund*; das Potenzial ist am positivsten, wenn *Katze* auf *Katze* folgt. Das Ausmaß der semantischen Bahnung bildet sich also als inverse Funktion der Negativierung des EKP ab, das von physikalisch identischen Wörtern ausgelöst wird.

Semantische Bahnung ohne Bewusstheit

Dass ein automatischer Prozess auch ohne Bewusstheit ablaufen kann, stellt ein hinreichendes, aber nicht unbedingt notwendiges Kriterium der Automatizität dar. Wir beschränken uns hier auf eine zugegebenermaßen oberflächliche, operationale Definition von Bewusstheit als der Introspektion der Probanden zugänglich. D. h., wir gehen von fehlender Bewusstheit aus, wenn Probanden ein Wort nicht erkennen können.

Um nun die Frage der semantischen Bahnung ohne Bewusstheit zu untersuchen, nutzten wir¹³ die experimentelle Anordnung des *attentional blink*¹⁴ aus, bei der viele verschiedene Wörter – einzeln und sehr schnell nacheinander – immer auf derselben Stelle eines Computerbildschirms präsentiert werden. Die Probanden sollten unter schwarzen Distraktorwörtern zwei farbige Zielwörter erkennen. Bei entsprechend schneller Darbietung können zwar beide Wörter identifiziert werden, wenn sie in einem hinreichenden zeitlichen Abstand präsentiert werden. Folgen sie aber relativ schnell aufeinander, so war die Identifikation des zweiten Wortes nur in etwa der Hälfte der Fälle möglich. Offenbar benötigt unser System eine gewisse Verarbeitungszeit pro Wort, und während dieser Zeitspanne kann ein weiteres Wort nicht hinreichend gut erkannt werden.

Wir variierten nun die Bedeutungsähnlichkeit des zweiten Zielwortes zu einem weiteren Wort, das kurzzeitig dargeboten wurde, ebenfalls nur schwer zu erkennen war, und von dem wir die EKPs ableiteten. Um auf das obige Beispiel zurückzukommen: *Hund* oder *Beil* wurde als zweites Zielwort im *attentional blink* dargeboten, *Katze* aber als EKP auslösendes Ereignis.

Wie bereits oben erwähnt, erkannten Probanden *Katze* besser, wenn es auf *Hund* folgte, als wenn es nach *Beil* erschien. Dieser Effekt der semantischen Bahnung der Erkennungsleistung trat allerdings nur dann auf, wenn die Probanden das zweite Zielwort (*Hund* oder *Beil*) bewusst wahrgenommen hatten. Wurde dieses zweite Zielwort hingegen nicht wahrgenommen, so hatte die semantische Assoziation auch keinen Effekt. Damit schien klar: Die Bedeutung von Wörtern, die wir nicht bewusst wahrnehmen, geht ungenutzt verloren.

Die von dem Wort *Katze* ausgelösten EKPs widerlegten diese Folgerung jedoch. Das N400-Potenzial als Funktion der semantischen Nähe des zweiten Zielwortes fand sich auch dann, wenn Probanden dieses nicht bewusst wahrgenommen hatten. D. h., Aktivierung im Gedächtnisnetzwerk breitete sich auch dann von *Hund* zu *Katze* aus, wenn Probanden *Hund* überhaupt nicht bewusst wahrgenommen hatten. Somit kann das erste Kriterium der Automatizität der Aktivierungsausbreitung als gegeben angesehen werden.

Semantische Bahnung ohne Aufmerksamkeitszuwendung

Neben der fehlenden Bewusstheit fordert die experimentelle Psychologie von einem kognitiven Prozess, dass er auch ohne Aufmerksamkeitszuwendung abläuft, um ihn als „au-

¹³ Vgl. Rolke *et al.* (2001).

¹⁴ Vgl. Raymond *et al.* (1992).

tomatisch“ einzustufen. Dieser Frage sind wir in einem weiteren Experiment nachgegangen.¹⁵ Probanden wurden sowohl als Prime als auch als Probe zwei Wörter untereinander für nur eine kurze Zeitspanne (150 Millisekunden) dargeboten, die sich in ihrer Farbe unterschieden. Eine Farbe wurde zur Zielfarbe erklärt, Wörter in der anderen Farbe konnten von den Probanden ignoriert werden. Von dem Zielwort sollten die Probanden beim Prime entscheiden, ob es in Groß- oder Kleinbuchstaben dargeboten wurde, bei der Probe wurde eine lexikalische Entscheidung verlangt. Somit war es möglich, neben semantisch assoziierten und nicht assoziierten Prime-Proben-Paaren auch solche zu bilden, bei denen zwar das Zielwort des Primes mit dem Zielwort der Probe nicht assoziiert war, das zu ignorierende Distraktor-Primewort aber eine semantische Assoziation zum Probenwort aufwies.

In den Reaktionszeiten fanden sich sehr klare Ergebnisse. Semantisch assoziierte Ziel-Primewörter beschleunigten die Reaktionszeiten auf Probenwörter gegenüber nicht assoziierten Ziel-Primewörtern. Von Letzteren unterschieden sich die Reaktionszeiten nach assoziierten Distraktor-Primewörtern aber nicht. D. h., auf Grund der Reaktionszeiten würde man folgern, dass Distraktorwörter keine semantische Bahnung auslösen können, oder anders ausgedrückt, dass eine semantische Bahnung ohne Aufmerksamkeitszuwendung nicht möglich erscheint und damit semantische Bahnung nicht als automatischer kognitiver Prozess zu gelten hätte.

Um diese Annahme auf einer neurophysiologischen Ebene zu überprüfen, nahmen wir in der beschriebenen Versuchsanordnung wiederum EKPs auf. Die N400, die durch physikalisch identische Probenwörter ausgelöst wurde, variierte in ihrer Amplitude als Funktion der semantischen Assoziation der Primewörter; d. h., nicht assoziierte Prime-Zielwörter lösten eine stärkere N400 aus als assoziierte Zielwörter. Theoretisch relevanter war aber der Vergleich zwischen komplett nicht assoziierten Primewörtern und solchen, bei denen zwar das Ziel-Primewort nicht assoziiert war, das Distraktor-Primewort aber sehr wohl. Auch in diesem Fall zeigte sich ja auf der Verhaltensebene kein Reaktionszeiteffekt. Die hirnelektrischen Potenziale der N400 unterschieden sich aber sehr wohl, was einen starken Beleg für die Annahme darstellt, dass semantische Bahnung auch ohne Aufmerksamkeitszuwendung ausgelöst werden kann. Auch in dieser Studie erwiesen sich die elektrophysiologischen Daten wiederum als sensitiver im Vergleich zu den Verhaltensmaßen.

Nicht unterdrückbare semantische Bahnung

Der dritte und letzte Aspekt eines automatischen kognitiven Prozesses, den wir untersuchten, bezieht sich darauf, dass ein solcher nicht unterdrückbar ist; d. h., er läuft auch dann ab, wenn er nicht der Intention der Probanden entspricht. Ein bekanntes Beispiel stellt das Stroop-Paradigma dar,¹⁶ bei dem Farbwörter wie z. B. *gelb* oder *blau* in unterschiedlicher Schriftfarbe dargeboten werden mit der Instruktion, die Bedeutung der Wörter zu ignorieren, aber die Farbe zu benennen. Hier zeigen sich klare Befunde, dass auch nach intensiver Übung die Verarbeitung des Farbwortes nicht erfolgreich unterdrückt werden kann.

Um zu untersuchen, ob semantische Bahnung unterdrückbar ist, wurde in letzter Zeit das so genannte *letter search*-Paradigma eingesetzt. Hierbei wird über dem Primewort

¹⁵ Vgl. Heil und Rolke (im Druck).

¹⁶ Vgl. MacLeod (1991).

ein Buchstabe präsentiert, und die Aufgabe der Probanden besteht darin, zu entscheiden, ob der Buchstabe in dem Primewort vorkommt oder nicht. Darauf folgt das Probenwort, von dem eine lexikalische Entscheidung gefordert ist. Prime- und Probenwort können nun identisch, semantisch assoziiert oder nicht assoziiert sein. In einer Reihe von Studien¹⁷ fanden sich nun übereinstimmende Befunde hinsichtlich der Reaktionszeiten in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe: Während sich bei einer Wiederholung der Wörter die Reaktionszeiten verkürzten, unterschieden sie sich nicht zwischen der semantisch assoziierten und der nicht assoziierten Bedingung. D. h. die Zeit, die benötigt wurde, um das Wort *Katze* zu erkennen, wenn zuvor im Wort *Hund* der Buchstabe *U* gesucht worden war, unterschied sich nicht von der Reaktionszeit, wenn zuvor im Wort *Flur* der Buchstabe *U* gesucht worden war.

Dieser Befund spricht für die Unterdrückbarkeit der semantischen Bahnung und wurde als bislang überzeugendster Gegenbeleg gegen die Automatizitätsannahme der semantischen Bahnung interpretiert.¹⁸ Während die erleichternden Effekte der Wiederholungsbahnung bestätigen, dass die Gedächtnisrepräsentation eines Wortes tatsächlich aktiviert wird, soll das Ausbleiben eines semantischen Bahnungseffektes belegen, dass Probanden in der Lage sind, semantische Bahnung zu unterdrücken, wenn sie für die Aufgabenstellung nicht hilfreich ist.

Auch in diesem Falle haben wir¹⁹ uns die Frage gestellt, ob dieser Befund nun tatsächlich eine Aussage über den kognitiven Prozess der semantischen Bahnung erlaubt oder eher etwas über die Sensibilität der abhängigen Variable zur Messung dieser semantischen Bahnung, d. h. die Reaktionszeiten, aussagt. In einer Replikation dieser Versuchsanordnung, in der zusätzlich die N400-Amplitudenmodulation aufgezeichnet wurden, konnten wir den Reaktionszeitbefund bestätigen. Interessanterweise trennte aber die N400-Amplitude zwischen den beiden Bedingungen, die sich in den Reaktionszeiten nicht unterschieden: Die Amplitude der N400 im nicht assoziierten Fall war deutlich größer als im semantisch assoziierten Fall.

D. h., auch diese Befunde legen nahe, dass es sich um einen (theoretisch höchst relevanten) Irrtum handelt, die Verhaltenskorrelate eines kognitiven Prozesses (semantische Bahnung) mit dem Prozess selbst gleichzusetzen. Eine veränderte Operationalisierung des kognitiven Prozesses führt hier zu Befunden, die mit der Theorie der automatischen semantischen Aktivierung konform gehen.

Zur Automatizität semantischer Bahnung

Wir haben gesehen, dass in der experimentellen Kognitionspsychologie derzeit dominierende Modelle zu Repräsentationen und Prozessen des menschlichen Gedächtnisses von assoziativ organisierten Netzwerken ausgehen, innerhalb derer sich Aktivierung automatisch ausbreitet. Diese Konsensannahme wurde durch Befunde in Frage gestellt, die drei Hauptmerkmale eines automatischen Prozesses berühren. Hierbei wurden Verhaltensdaten (Fehlerraten und Reaktionszeiten) als Operationalisierung semantischer Aktivierung eingesetzt. In diesen Experimenten zeigten sich keine semantischen Bahnungseffekte, wenn die entsprechenden Prozesse ohne Bewusstheit oder ohne Aufmerksamkeitszuwendung

¹⁷ Vgl. Maxfield (1997).

¹⁸ Vgl. Chiappe *et al.* (1996) und Brown *et al.* (2001).

¹⁹ Vgl. Heil *et al.* (im Druck).

abliefern. Weiterhin fanden sich in den Verhaltensdaten Belege dafür, dass semantische Bahnungseffekte intentional unterdrückt werden konnten, wenn sie die Aufgabenstellung der Probanden hätten stören können. Diese Befundlage würde die gängigen Annahmen zum menschlichen Gedächtnis widerlegen, und zwar dann, wenn der kognitive Prozess der semantischen Bahnung als notwendige und hinreichende Bedingung für das Auftreten der Effekte angesehen werden könnte.

Hiervon kann allerdings nicht ausgegangen werden. Finden sich in den Verhaltensdaten entsprechende Effekte, so sind diese dank der experimentellen Versuchsplanung tatsächlich auf die entsprechenden kognitiven Prozesse der semantischen Bahnung zurückführbar. Der Umkehrschluss hingegen kann nicht gezogen werden. Die Abwesenheit der Effekte stellt keinen validen Indikator für die Abwesenheit der kognitiven Prozesse dar. Es ist stattdessen z. B. möglich, die Abwesenheit der Effekte durch eine mangelnde Sensitivität der abhängigen Variable zu erklären.²⁰

In sämtlichen beschriebenen Versuchsanordnungen, in denen reliabel keine Verhaltens-effekte gefunden werden konnten, bestätigten die verwendeten neurophysiologischen Maße überzeugend die Vorhersagen, die sich aus der Konzeption einer automatischen Aktivierungsausbreitung innerhalb eines assoziativ organisierten Gedächtnisnetzwerkes ableiten ließen. Semantische Bahnung, operationalisiert mittels der N400-Komponente im EEG, fand sich sowohl bei Abwesenheit von Bewusstheit als auch bei Abwesenheit von Aufmerksamkeit und ließ sich schließlich auch nicht unterdrücken. Damit ergeben sich dank der Konsistenz der Befunde zwei Schlussfolgerungen aus den Daten:

1. Die neurophysiologischen Parameter stellen eine sensitivere Operationalisierung kognitiver Prozesse dar, als es Verhaltensdaten erlauben.
2. Die Befunde bestätigen die theoretischen Annahmen der experimentellen Kognitionspsychologie zum menschlichen Gedächtnis.

Der Erkenntnisgewinn, der hiermit durch die Verwendung neurophysiologischer Variablen möglich wurde, legt die Frage nahe, ob einem neurowissenschaftlichen Ansatz in der Psychologie nicht generell der Vorzug eingeräumt werden sollte. Im abschließenden Kapitel wollen wir verdeutlichen, wieso die hier berichteten Forschungsergebnisse trotz Verwendung neurophysiologischer Techniken eher dem kognitionspsychologischen denn dem neurowissenschaftlichen Ansatz zuzurechnen sind.

Die neurophysiologischen Befunde zur semantischen Bahnung als Beispiel eines *black box*-Ansatzes

Abschließend wollen wir uns noch zwei allgemeineren Fragen widmen, und zwar der nach der Bedeutung von neurophysiologischen Befunden, die nicht verhaltensrelevant werden, sowie der, ob die beschriebene Forschung konzeptuell eher der experimentellen Kognitionspsychologie oder den Neurowissenschaften zuzuordnen ist.

Wie in der Einleitung beschrieben, ist die Kognitionspsychologie in ihrer theoretischen Ausrichtung dem Prinzip der funktionalen Äquivalenz verpflichtet, und hat daher (leider) in ihrer Geschichte oftmals neurophysiologische Befunde eher ignoriert. Nach diesem Prinzip sind neurophysiologische Befunde entweder redundant (wenn sie sich mit

²⁰ Vgl. Heil *et al.* (1997) und Heil (2002).

dem beobachtbaren Verhalten decken) oder irrelevant (wenn sie keine Entsprechung im beobachtbaren Verhalten aufweisen).

In der Kognitionspsychologie steht mittlerweile aber die Erforschung menschlicher Informationsverarbeitung stärker im Mittelpunkt als das Prinzip der funktionalen Äquivalenz. Somit rückt die Frage nach den Prinzipien der Informationsverarbeitung in den Vordergrund, und beobachtbares Verhalten wird verstanden als eine Submenge der zu einem bestimmten Zeitpunkt aktiven Prozesse. Die Frage, was bedingt, welche Informationsverarbeitungsprozesse zu einem gegebenen Zeitpunkt verhaltensrelevant werden, bleibt eine der dringlichsten der experimentellen Psychologie und wird diese wohl noch länger beschäftigen.

Warum nun ist die hier beschriebene Forschungsrichtung eher der Kognitionspsychologie und nicht den Neurowissenschaften zuzurechnen, obwohl wir doch elektrophysiologische Korrelate neuronaler Prozesse messen und diese mithilfe einiger mathematischer Formeln (und zusätzlicher Annahmen) auch in dreidimensionale, bunte Bilder der Aktivität des Gehirns umrechnen könnten?

Sicherlich sind die Übergänge zwischen experimenteller Psychologie und Neurowissenschaften fließend, und die Beobachtung, dass sich diese beiden Disziplinen zunehmend gegenseitig befruchten, macht allerdings Hoffnung für künftigen Erkenntnisfortschritt. Die Trennlinie wird aber meines Erachtens deutlich, wenn man die aus der Informatik stammende Unterscheidung zwischen *black box*- und *glass box*-Testen auf diesen Bereich überträgt. Die Grundannahme der experimentellen Psychologie findet sich im funktionsorientierten *black box*-Testen wieder, bei dem aus der Manipulation von Input-Variablen und dem Beobachten von Output-Variablen Rückschlüsse auf das untersuchte System möglich werden. Eine Integration neurophysiologischer, hormoneller oder genetischer (oder was immer im funktionsorientierten Ansatz Sinn macht) Variablen verändert die grundsätzliche Herangehensweise nicht. D. h., obwohl wir in den beschriebenen Studien neurophysiologische Variablen gemessen haben, war die Forschung vor ihrer Ausrichtung her doch ganz eindeutig der Idee des *black box*-Testens verpflichtet.

Die Neurowissenschaften hingegen propagieren den *glass box*-Ansatz eines strukturorientierten Testens wissenschaftlicher Hypothesen. Wissen über die physikalische Realisation kognitiver Prozesse (ihre neuronale Implementation) könnte in Zukunft dieses weitergehende Testen und (zumindest theoretisch) einen höheren Erkenntnisgewinn erlauben. Ob das hierfür notwendige Wissen in Bezug auf komplexere kognitive Prozesse in absehbarer Zeit (oder überhaupt) erlangt werden kann, wird künftige Forschung zeigen müssen.

Literatur

- ANDERSON, John R. „A spreading activation theory of memory“, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 22 (1983), 261-295.
- BROWN, Matthew S., Martha A. ROBERTS und Derek BESNER. „Semantic priming in visual word recognition: Activation blocking and domain specificity“, *Psychonomic Bulletin and Review* 8 (2001), 778-784.
- CHIAPPE, Penelope R., Marilyn C. SMITH und Derek BESNER. „Semantic priming in visual word recognition: Activation blocking and domains of processing“, *Psychonomic Bulletin and Review* 3 (1996), 249-253.
- HEIL, Martin, Frank RÖSLER und Erwin HENNIGHAUSEN. „Topography of brain electrical activity

- dissociates the retrieval of spatial versus verbal information from episodic long-term memory in humans“, *Neuroscience Letters* 222 (1997), 45-48.
- HEIL, Martin und Frank RÖSLER. „Neuro- und elektrophysiologische Verfahren“, in: Walter STURM, Manfred HERRMANN und Claus-W. WALLECH (Hrsg.). *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*. Lisse 2000, 219-228.
- HEIL, Martin. „The functional significance of ERP effects during mental rotation“, *Psychophysiology* 39 (2002), 535-545.
- HEIL, Martin und Bettina ROLKE. „Unattended distractor induced priming in a visual selective attention task: N400 effects in the absence of RT effects“, *Journal of Psychophysiology* (im Druck).
- HEIL, Martin, Bettina ROLKE und Anna PECCHINENDA. „Automatic semantic activation is no myth: N400 semantic context effects in the letter search task in the absence of RT effects“, *Psychological Science* (im Druck).
- KAHNEMANN, Daniel und Diane CHAJCZYK. „Tests of the automaticity of reading: Dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli“, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 9 (1983), 497-509.
- MACLEOD, Colin M. „Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review“, *Psychological Bulletin* 109 (1991), 163-203.
- MAXFIELD, Lisa. „Attention and semantic priming: A review of the prime task effects“, *Consciousness and Cognition* 6 (1997), 204-218.
- NEATH, Ian und Aimee M. SUPRENANT. *Human memory*. Pacific Grove, CA, 2002.
- NEELY, James H. „Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories“, in: Derek BESNER und Glyn W. HUMPHREYS (Hrsg.). *Basic processes in reading*. Hillsdale, NJ, 1991, 264-336.
- NEELY, James H. und Todd A. KAHAN. „Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation“, in: Henry L. ROEDIGER (Hrsg.). *The nature of remembering: Essays in honor of R. G. Crowder*. Washington, D. C., 2001, 69-93.
- NEUMANN, Odmар. „Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory“, in: Wolfgang PRINZ und Andries F. SANDERS (Hrsg.). *Cognition and motor processes*. Berlin 1984, 255-293.
- OSTERHOUT, Lee und Phillip J. HOLCOMB. „Event-related potentials and language comprehension“, in: Michael D. RUGG und Michael G. H. COLES (Hrsg.). *Electrophysiology of mind*. Oxford 1995, 171-215.
- POSNER, Michael I. und Charles R. SNYDER. „Attention and cognitive control“, in: Robert L. SOLSO (Hrsg.). *Information processing and cognition: The Loyola Symposium*. Hillsdale, NJ, 1975, 55-83.
- RAYMOND, Jane E., Kimron L. SHAPIRO und Karen M. ARNELL. „Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink?“ *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 18 (1992), 849-860.
- ROLKE, Bettina, Martin HEIL, Judith STREB und Erwin HENNIGHAUSEN. „Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect“, *Psychophysiology* 38 (2001), 165-174.
- RÖSLER, Frank und Martin HEIL. „Kognitive Psychophysiology“, in: Frank RÖSLER (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie: Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiology*. Göttingen 1998, 165-224.

- RÖSLER, Frank und Martin HEIL. „The principle of code-specific memory representations“, in: Rainer H. KLUWE, Gerd LÜER und Frank RÖSLER (Hrsg.). *Principles of learning and memory*. Basel 2003, 71-92.
- SOLSO, Robert L. *Cognitive Psychology*. Boston, MA, 2000.
- STOLZ, Jennifer A. und Derek BESNER. „On the myth of automatic semantic activation in reading“, *Current Directions in Psychological Science* 8 (1999), 61-65.
- TURING, Alan. „Computing machinery and intelligence“, *Mind* 59 (1950), 434-460.