

15 Wissensbildung, Problemlösen und Denken

M.R. Waldmann, M. von Sydow

15.1 Denken als psychologisches Forschungsthema – 217

15.2 Problemlösen – 218

15.2.1 Problemlösen in wissensarmen Domänen – 218

15.2.2 Problemlösen von Experten – 220

15.2.3 Die Nutzung von spezifischem Vorwissen – 220

15.3 Deduktives und induktives Denken – 222

15.3.1 Deduktives Denken: Logik und Wissen – 222

15.3.2 Induktives Denken: Hypothesenbildung und Generalisierung – 226

15.3.3 Induktives Denken mit Wahrscheinlichkeiten – 227

15.4 Resümee – 228

Literatur – 228



Das Thema Denken hat Philosophen und Psychologen lange Zeit beschäftigt. Bereits Aristoteles (384–322 v. Chr.) charakterisierte den Menschen als »animal rationale« (»zoon logon echon«), als vernünftiges Tier. Wissenschaftliche und kulturelle Errungenschaften hängen von unserer Fähigkeit zu denken ab. Denkprozesse haben aber auch im Alltag eine große Bedeutung. Es gibt nur wenige psychologische Bereiche, bei denen Denken keine zentrale Rolle spielt.

Allgemein versteht man unter Denken alle mentalen Vorgänge, bei denen Begriffe, Ideen, Vorstellungen und andere Formen der mentalen Repräsentation mental verändert, neu kombiniert und umgestaltet werden. Dabei ist ein wesentliches Merkmal des Denkens, dass hierbei geistige Produkte unabhängig von der aktuellen Wahrnehmungssituation gebildet werden können. Dies erlaubt es uns, Handlungsmöglichkeiten, Problemlösungen und Hypothesen mental durchzuspielen, die in der Realität oft nur mit großem Aufwand oder Risiko ausgetestet werden können. Denken gibt uns mithin ein gewisses Maß an Freiheit von den aktuellen situativen Gegebenheiten.

15.1 Denken als psychologisches Forschungsthema

Denken, ein Thema, das Philosophen über 2000 Jahre beschäftigt hat, wurde auch früh in der Psychologie zu einem wichtigen Forschungsthema. Während der Begründer der experimentellen Psychologie, Wilhelm Wundt, höhere Prozesse, wie das Denken, zumindest als Gegenstand der empirischen Psychologie ausklammerte, gehörte die Denkpsychologie zu den zentralen Themen der von Oswald Külpe begründeten Würzburger Schule. Zunächst hat man sich diesem Phänomen mit der Methode der Introspektion genähert. Diese Methode ergab erste wichtige Erkenntnisse, wurde aber zunehmend wegen des Mangels an Kontrolle und wegen der Schwierigkeiten, die postulierten Theorien empirisch zu überprüfen, in Frage gestellt. Die nicht introspektive, experimentelle Untersuchung von Denkprozessen begann mit den Untersuchungen der Gestaltpsychologie und wurde nach einer längeren, durch die Dominanz des Behaviorismus begründeten Pause zu einem zentralen Thema der aktuellen Kognitions- und Informationsverarbeitungspsychologie.

Während die im Titel dieses Kapitels angedeutete Verknüpfung von Problemlösen, Denken und Wissen heute selbstverständlich erscheint, wurden diese Bereiche zu Beginn der »kognitiven Wende« der Psychologie am Ende der

50er Jahre des letzten Jahrhunderts zunächst getrennt untersucht. Ursprünglich hatte man gehofft, allgemeine bereichsübergreifende Prozeduren des Problemlösens und des Denkens zu entdecken, die auf beliebige Bereiche angewendet werden können. Zunehmend wurde aber klar, dass Problemlösen und Denken nicht hinreichend verstanden werden können, wenn man sie nicht im Zusammenhang mit dem Bereichswissen untersucht, das wir mitbringen. Die Vorstellung, dass wir abstrakte Denkprozeduren völlig unabhängig von Weltwissen nutzen, hat sich als illusionär erwiesen. Viele Jahre stand deshalb die Untersuchung von Problemlösen und Denken in Bereichen im Vordergrund, in denen die Versuchsteilnehmer sehr spezifisches Bereichswissen haben.

In den letzten Jahren zeichnet sich aber eine Trendwende ab. Auch wenn nach wie vor ein großes Interesse an spezifischem Weltwissen (z. B. Schachexperten; Expertensysteme) besteht, ist man zunehmend mehr daran interessiert, ob wir beim Problemlösen und Denken nicht auch abstraktere Formen von Vorwissen nutzen. Diese Wissensformen sind einerseits nicht so spezifisch wie konkretes Bereichswissen, auf der anderen Seite aber auch nicht so abstrakt wie logische Schlusschemata oder abstrakte Problemlösealgorithmen. Im Folgenden werden wir versuchen, die genannten Trends in den Bereichen des Problemlösens und des deduktiven sowie induktiven Denkens nachzuzeichnen.

15.2 Problemlösen

Was versteht man in der Psychologie unter einem »Problem«? Allgemein stehen Personen vor einem Problem, wenn sie ein Ziel erreichen wollen, die dafür benötigten Mittel aber noch nicht kennen. Im Allgemeinen unterscheidet man bei der Analyse von Problemsituationen Ziele, Situationsbedingungen, Mittel oder Operationen und Hindernisse. Probleme können in ganz unterschiedlichen Bereichen entstehen. Bei einem mathematischen Problem sind Ausgangs- und Zielzustand und die mathematischen Operationen bekannt, unbekannt ist aber die Verkettung der Operationen (für einen ausführlicheren Überblick zur Problemlöseforschung vgl. Funke, 2003; Knoblich, 2002; Medin, Ross & Markman, 2004).

Es wurde häufig versucht, Probleme nach Typen zu klassifizieren. Eine beliebte Unterscheidung ist die zwischen gut definierten (geschlossenen) und schlecht definierten (offenen) Problemen. Bei gut definierten Problemen sind der Ausgangszustand, die Operationen und der Zielzustand klar vorgegeben. Viele Spiele und Puzzles haben eine solche Struktur. Die meisten Probleme im Alltag sind aber eher schlecht definiert. Bei Fragen, wie man eine glückliche Beziehung führen soll, den Wohlstand der Gesellschaft steigert oder das Design eines Produkts verbessern kann, besteht der wichtigste und häufig schwierigste Teil der Problemlösung in der präzisen Charakterisierung

des Zielzustands. Herbert A. Simon (Kurzbiographie in ► Kap. 34) hat dazu gesagt, dass es beim Problemlösen häufig darum geht, schlecht definierte in gut definierte Probleme umzuwandeln.

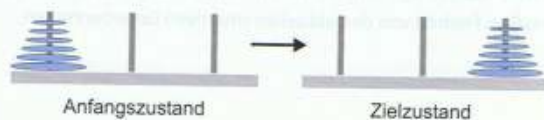
15.2.1 Problemlösen in wissensarmen Domänen

Die Analysen von Newell und Simon (1972), die Ende der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts begonnen haben, sind ein Meilenstein in der formalen Analyse von Problemlöseprozessen. Newell und Simon waren Pioniere der Computermodellierung von kognitiven Prozessen. Ihre Modelle wurden vorwiegend mit der Methode des lauten Denkens (verbale Protokolle) empirisch gestützt, bei der Versuchsteilnehmer veranlasst wurden, ihren eigenen Problemlöseprozess zu protokollieren. Um die Komplexität des Forschungsgegenstands zu reduzieren, haben sich Newell und Simon zunächst mit vergleichsweise einfachen, gut definierten Problemen befasst. Sie hofften, durch die Ausblendung von Wissen einen besseren Blick auf die Problemlösungsprozeduren zu erlangen. Ein häufig untersuchtes Beispiel (»Turm von Hanoi«) zeigt ► Abb. 15.1. Die Aufgabe besteht darin, den Anfangs- in den Zielzustand zu überführen, indem man die Scheiben einzeln auf einen der Stäbe legt. Dabei darf sich nie eine größere Scheibe über einer kleineren befinden.

Zentral für Newell und Simons Theorie ist das Konzept des **Problemraumes**. Darunter versteht man die objektive Problemsituation, welche die Menge möglicher Zustände und Operatoren beinhaltet. Bei einfachen Spielen ist dieser Raum überschaubar, aber üblicherweise kann der Problemraum enorm groß sein. Der objektive Problemraum eines Schachspiels umfasst bereits 401 Zustände, wenn man nur den ersten Zug jedes Spielers betrachtet. Man geht deshalb davon aus, dass sich Problemlöser in einem eingeschränkten subjektiven Problemraum bewegen, der ihrem Vorwissen und ihrer Informationsverarbeitungskapazität angemessen ist.

Problemlösen als Suche in einem Problemraum

Die zentrale Komponente der Theorie von Newell und Simon besteht nun darin, Methoden zu analysieren, wie man in diesem enormen Problemraum zum Ziel gelangt. Ideal wäre es, wenn wir über **Algorithmen** verfügten, die automatisch zum Ziel führen. Solche Algorithmen gibt es aber für viele Probleme nicht, und selbst wenn es sie gäbe, würde



► Abb. 15.1. Anfangs- und Zielzustand im »Turm-von-Hanoi«-Problem

ihre Anwendung die Speicher- und Verarbeitungskapazität unseres Gehirns bei weitem übersteigen. Beim Problemlösen müssen wir deshalb in der Regel auf **Heuristiken** (Daumenregeln) zurückgreifen, die zwar keine Problemlösung garantieren, aber in den meisten Umständen bei der Lösung hilfreich sind.

In der Forschung zum Problemlösen wurde eine Reihe von Heuristiken untersucht. Eine einfache Heuristik ist etwa die **Methode der Unterschiedsreduktion** (»hill climbing«). Die Methode besteht darin, dass man Operatoren anwendet, die uns dem Ziel einen Schritt näher bringen und nicht davon entfernen. Wollen wir etwa eine Prüfung bestehen, dann ist es sinnvoll, die Kapitel in einem Lehrbuch sukzessive zu lernen. Wie alle Heuristiken führt aber auch diese Methode nicht immer zum Erfolg. Beispielsweise kann es für unseren Lernerfolg sinnvoll sein, ein paar Tage Urlaub zu nehmen, um dann mit neuer Motivation lernen zu können. Um mit solchen Situationen umgehen zu können, muss man eine Methode einsetzen, die mehrere Schritte im Voraus plant.

Ein Beispiel dafür ist die **Mittel-Ziel-Analyse** (»means-end-analysis«). Hierbei betrachtet man zunächst Ausgangs- und Zielzustand und bildet ein Teilziel, das die Differenz zwischen den beiden Zuständen möglichst stark reduziert. In einem nächsten Schritt wendet man sich dann dem Teilziel zu und versucht ein Mittel zu finden, mit dem man dieses Ziel erreichen kann. Diese Methode kann man über mehrere Schritte durchführen. Will man beispielsweise von Passau nach London gelangen, könnte man als ersten Schritt auf die Idee kommen, ein Flugzeug aus München zu nutzen. Im nächsten Schritt muss man dann das Problem lösen, von Passau nach München zu gelangen.

Eine weitere Heuristik ist die **Rückwärtssuche**. Dabei geht man vom Ziel aus und bewegt sich im Geiste rückwärts auf den Ausgangszustand zu. Diese Methode wird häufig bei mathematischen Beweisen oder bei Programmierproblemen eingesetzt, bei denen die Zahl der Alternativen vom Ziel aus gesehen gering ist im Vergleich zur Zahl der Alternativen, die man vom Ausgangszustand aus gewärtigt. Diese und andere Heuristiken werden nicht nur von Computerprogrammen eingesetzt, sondern man konnte sie auch in den Protokollen von Problemlösern wiederfinden.

Die Rolle der Repräsentation

Newell und Simon plädierten für eine Theorie, die Problemlösen als Funktion der Repräsentation des Problemraums und der Suche beschreibt. Wenngleich anfangs Suchheuristiken im Mittelpunkt des Interesses standen, wurde zunehmend klar, dass die Art und Weise, wie die Probleme repräsentiert werden, mindestens ebenso wichtig ist (Simon, 1978).

Die große Bedeutung der Repräsentation wurde viele Jahre zuvor bereits von Gestaltpsychologen erkannt, die Problemlösen nicht wie die Behavioristen als Prozess des Versuchs und Irrtums auffassten, sondern als Ergebnis pro-



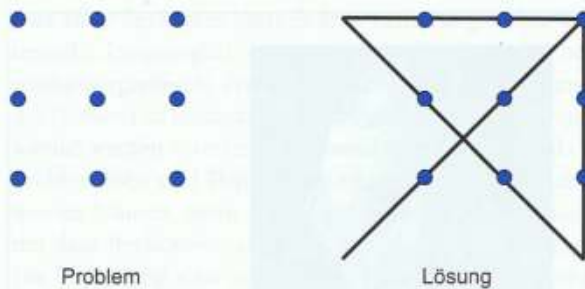
Wolfgang Köhler

Wolfgang Köhler, 1887 in Reval (heute Estland) geboren, wurde 1913 Direktor der Anthropoidenstation der Preußischen Akademie der Wissenschaften auf Teneriffa. Seine dort durchgeführten und berühmt gewordenen Untersuchungen mit Affen zeigten, dass deren Problemlöseverhalten durch Einsicht und nicht durch blinden »Trial and Error« gekennzeichnet ist. Zurück in Deutschland wurde er Professor in Göttingen und dann in Berlin, wo er 1933 öffentlich gegen die Rassenpolitik der Nationalsozialisten protestierte. 1935 emigrierte er in die USA. Köhler wurde 1958 Präsident der American Psychological Association und starb 1967 in Enfield, New Hampshire. Wolfgang Köhler gilt zusammen mit Max Wertheimer und Kurt Koffka als einer der Begründer der Gestaltpsychologie.

duktiven Denkens (Wertheimer, 1964). Die Gestaltpsychologen Wolfgang Köhler und Karl Bühler analysierten Problemlösen als **Umstrukturierungsprozess**, der zu einer plötzlichen Einsicht oder einem Aha-Erlebnis führen kann (► Kurzbiographie).

Die Rolle der Umstrukturierung kann man gut anhand des 9-Punkte-Problems erkennen (■ Abb. 15.2). Die Aufgabe besteht darin, die 9 Punkte mit 4 Geraden zu verbinden, ohne dabei den Stift vom Papier zu heben, wenn man die 4 Geraden zeichnet. Die Lösung (■ Abb. 15.2) wird oft dadurch blockiert, dass man die 9 Punkte als Grenzen auffasst, die man nicht überschreiten darf. Kaplan und Simon (1990) gehen davon aus, dass Lösungen solcher Probleme dadurch ermöglicht werden, dass Problemlöser die Repräsentation der Aufgabe verändern. Eine Reihe von Studien der letzten Jahre hat gezeigt, dass Einsichtsprozesse weitgehend unbewusst ablaufen, was erklärt, wieso wir den Eindruck eines Aha-Erlebnisses haben (vgl. Metcalfe & Wiebe, 1987).

Die große Bedeutung der Problemrepräsentation lässt sich auch zeigen, wenn man unterschiedliche Varianten des gleichen Problems (Problemisomorphe) vergleicht. So haben Kotovsky, Hayes und Simon (1985) eine Variante des



■ **Abb. 15.2.** Das 9-Punkte-Problem von Scheerer (mit Lösung)

»Turm-von-Hanoi«-Problems (■ Abb. 15.1) entwickelt, in der Monster verschieden große Kugeln verschieben. Diese Variante des Problems, dessen Regeln ansonsten gleich waren, konnte 8-mal so schnell gelöst werden wie die Standardversion. Kotovsky et al. (1985) vermuten, dass die geringere Abstraktheit der Monsterversion, die bessere Vorstellungbarkeit und die Ähnlichkeit zu bereits vertrauten Problemsituationen Faktoren sind, die die Leichtigkeit formal isomorpher Probleme determinieren.

15.2.2 Problemlösen von Experten

Die bisherigen Studien beschäftigten sich mit Problemen, die vergleichsweise wenig inhaltliches Vorwissen erforderten. Man hoffte, mit solchen Untersuchungen die bereichsübergreifenden Strategien zu isolieren, mit denen wir auch Probleme in komplexeren Domänen bearbeiten. Im Grunde erwartete man zunächst, dass sich zeigen würde, dass Experten diese abstrakten Problemlöseprozeduren nur schneller und effizienter nutzen. Diese Erwartung wurde allerdings enttäuscht (vgl. Ericsson, 1996; Knoblich, 2002; Medin et al., 2004; Waldmann & Weinert, 1990).

Die ersten Studien zur Expertise befassten sich mit Laien und Experten im Bereich Schach. Dabei zeigte sich, dass es keineswegs so ist, dass Weltklassenspieler allgemein bessere Denker sind. De Groot (1965) fand vielmehr, dass diese Spieler Schachstellungen besser erinnern konnten. Im Anschluss hieran zeigten Chase und Simon (1973), dass Schachexperten nicht ein generell besseres Gedächtnis haben, da ihre überlegenen Leistungen nicht mit Gedächtnismaterial außerhalb der Schachdomäne nachweisbar sind. Ihrer Ansicht zufolge verfügen Schachexperten über ein reichhaltiges Vorwissen, das sie in jahrelanger Auseinandersetzung mit Schach erworben haben. Ähnliche Phänomene wurden auch in anderen Gebieten wie z. B. Sport, Computerprogrammieren oder Medizin belegt.

Man widmete sich in der Expertiseforschung auch der Frage, ob es allgemeine Vorlieben von Experten für bestimmte **Problemlösestrategien** gibt. Erneut zeigte sich dabei aber, dass eine Analyse der Denkstrategien unabhängig von der Wissensbasis wenig zielführend ist. Während beispielsweise bei Physikexperten eine Tendenz zur Vor-

wärtssuche ausgehend von einer elaborierten Repräsentation des Problemraumes nachgewiesen wurde, tendieren Programmierexperten zur zielorientierten Rückwärtssuche. Im Grunde wählen Experten die Problemlösestrategie, die dem Problemtyp angemessen ist (vgl. Waldmann & Weinert, 1990).

Komplexes Problemlösen

Ein in Deutschland vielfach untersuchter Bereich befasst sich mit Problemlösen in komplexen Umwelten (vgl. Funke, 2003). Dabei werden typische Problemlösestrategien von Laien und Experten untersucht. Das übliche Vorgehen in diesem Forschungsbereich besteht darin, Probanden mit computersimulierten hochkomplexen Domänen zu konfrontieren. Diese Simulationen bilden die Komplexität der Realität nach, indem sie eine Vielzahl von dynamisch sich verändernden Variablen miteinander vernetzen. So sollten etwa Probanden als Bürgermeister einer Stadt fungieren (Dörner, 1981) oder die Geschäftsleitung einer Fabrik übernehmen. Schwerpunkt dieser Forschung war die Untersuchung des Einflusses von Personenmerkmalen (Intelligenz, Übung, Expertise), Situationsmerkmalen (Stress, Transparenz, Art der Informationsdarbietung) und Systemmerkmalen (Eigendynamik, Art der Rückmeldungen, Inhaltsbereich).

Insgesamt konnte die Forschung zu Expertise und komplexem Problemlösen keine einheitliche kognitive Kompetenz finden, die den überlegenen Leistungen zugrunde liegt. Es zeigte sich vielmehr, dass sich Experten den unterschiedlichen Eigenarten ihrer Domäne anpassen und Problemlösestrategien entwickeln, die dem Bereich optimal angemessen sind. Bereichsspezifisches Wissen und bereichsangemessene Problemlösestrategien sind mithin die Grundvoraussetzung für hohe Leistung. Von einer präzisen Theorie, wie Laien zu Experten werden, sind wir noch weit entfernt, wenngleich es einige vielversprechende Ansätze gibt (Anderson, 1993).

15.2.3 Die Nutzung von spezifischem Vorwissen

Die Expertiseforschung hat die bedeutende Rolle von Bereichswissen bei der Lösung von Problemen belegt, auf die Experten spezialisiert sind. Vorwissen kann aber auch einen Einfluss auf die Lösung neuartiger Probleme haben. In den letzten Jahrzehnten gab es deshalb in der Forschung ein starkes Interesse daran, den Einfluss von Wissen aus analogen Bereichen sowie die Nutzung abstrakterer, bereichsübergreifender Wissensformen zu untersuchen.

Wie bereits bei den Einsichtsproblemen waren auch hier Gestaltpsychologen Vorreiter (vgl. Funke, 2003; Knoblich, 2002). Im Gegensatz zur aktuellen Forschung zum positiven Nutzen von Analogien standen zunächst allerdings eher Wissenseinflüsse im Mittelpunkt des Interesses, die das Finden einer Problemlösung erschweren. Duncker

(1935) untersuchte beispielsweise das Phänomen der **funktionalen Gebundenheit**. Er vermutete, dass der gewohnte Gebrauch von Objekten Problemlöser davon abhält, sie in einer neuen Funktion zu benutzen. In einer klassischen, von Duncker untersuchten Aufgabe sollten Probanden eine Kerze aufrecht an der Wand befestigen und sie anzünden, wobei ihnen eine Schachtel mit Reißnägeln und eine mit Zündhölzern zur Verfügung standen. Die Lösung der Aufgabe bestand darin, eine der Schachteln als Stütze zu verwenden und an der Wand zu fixieren. Da Schachteln aber üblicherweise die Funktion von Behältern haben, kamen viele Versuchsteilnehmer nicht auf diese Idee.

Einstellungseffekte sind ein weiteres Beispiel für den negativen Einfluss früherer Erfahrung. In einer Reihe klassischer Studien haben Luchins und Luchins (1959) dieses Phänomen empirisch untersucht. Die Aufgabe bestand darin, unterschiedlich große Krüge (z. B. 29 l, 3 l) mit Wasser zu füllen und die Menge so umzufüllen, dass ein vorgegebenes Zielvolumen entsteht (z. B. 20 l). Das gegebene Beispiel ist leicht. Man muss lediglich mit dem großen Krug drei Mal den kleinen füllen, um am Ende 20 l übrig zu haben. Luchins und Luchins konnten allerdings zeigen, dass man durch die Art der gestellten Probleme die Lösung bei später gestellten Problemen beeinflussen kann. Versuchsteilnehmer, die häufig eine bestimmte Lösungsstrategie eingesetzt haben (z. B. wiederholtes Umfüllen des großen in den kleinen Krug), werden daran festhalten, auch wenn es eine effektivere, andere Lösung geben sollte.

Vorwissen hat nicht nur einen negativen Effekt auf Problemlösen. Es gibt viele Beispiele in der Wissenschaftsgeschichte, die zeigen, dass eine Reihe bedeutender wissenschaftlicher Entdeckungen durch Analogien aus anderen Bereichen inspiriert war (vgl. Holyoak & Thagard, 1995). Ein Beispiel dafür ist Ernest Rutherfords Atommodell. In

Analogie zum oberflächlich gänzlich anderen Objektbereich des Sonnensystems propagierte Rutherford ein Atommodell, in dem Elektronen – wie Planeten – aufgrund ihrer eigenen Fliehkraft in ihrer Bahn gehalten werden und nicht in die sie anziehenden Protonen im Kern fallen. Analogien werden nicht nur beim Problemlösen, sondern auch bei Entscheidungsprozessen, Sprachverstehen (Metaphern) und induktiven Denkprozessen genutzt (Holyoak & Thagard, 1995).

Beim Transfer von analogem Wissen unterscheidet man eine vertraute **Quelldomäne** (z. B. Sonnensystem) und die **Zieldomäne** (Atommodell). Beide Domänen beinhalten bestimmte **Elemente** (z. B. Planeten oder Elektronen) und **Relationen** zwischen diesen Elementen (umkreisen; anziehen). Wie in diesem Beispiel sind die Elemente häufig sehr verschieden (geringe Oberflächenähnlichkeit), die Übereinstimmung besteht eher auf der Ebene von ähnlichen Relationen (hohe Strukturähnlichkeit). Psychologisch unterscheidet man **Abruf**, **Abbildung** und **Inferenzen** beim Transfer. Die Zieldomäne (z. B. Atommodell) fungiert zunächst als Hinweisreiz für den Gedächtnisabruf potenziell relevanter Analogien (z. B. Sonnensystem). Danach geht es darum, die beiden Analogien aufeinander abzubilden, also die korrespondierenden Elemente und Relationen zu finden. Schließlich kann man die Quelldomäne dafür nutzen, um neue induktive Schlüsse in der Zieldomäne zu ziehen oder abstrakte Schemata für diese Art von Problemsituationen zu bilden. Bereits die wissenschaftshistorische Erfahrung belegt die Nützlichkeit von Analogien für das Problemlösen.

Die psychologischen Unterschiede von Abruf und Abbildung beim Problemlösen wurden erstmals in einer einflussreichen Studie von Gick und Holyoak (1980) untersucht (► Kasten).

Psychologische Unterschiede von Abruf und Abbildung beim Problemlösen – die Untersuchung von Gick und Holyoak (1980)

Gick und Holyoak präsentierten ihren Probanden zunächst eine Quelldomäne unter dem Vorwand, es ginge um eine Gedächtnisstudie. Später sollten sie ein Problem in einer anderen Domäne lösen, das analog zu dem früher präsentierten Quellproblem war. Als Quellproblem wurde eine Geschichte über einen General verwendet, der eine Festung einnehmen möchte. Er muss dazu seine ganze Armee einsetzen. Da die gesamte Armee nicht auf einem einzelnen Weg zur Festung gelangen kann, teilt der General seine Truppen auf und schickt sie auf mehreren Wegen gleichzeitig in Richtung Festung.

Einige Minuten später erhielten die Versuchsteilnehmer ein Problem, das von Karl Duncker entwickelt wurde. Dabei geht es darum, einen Tumor durch Bestrahlung zu zerstören, ohne den Patienten dabei zu verletzen. Nutzen

die Probanden das Quellproblem, dann würde die sog. Konvergenzlösung nahe liegen, derzufolge es am günstigsten ist, die Strahlen in schwächerer Intensität aus verschiedenen Richtungen auf den Tumor zu richten. Auf diese Weise würden sie den Tumor in gebündelter Intensität treffen, ohne das Gewebe und die Organe zu zerstören, die sich auf dem Weg befinden.

Ohne die zuvor präsentierte Analogie lösen nur etwa 10% der Probanden dieses Problem mit der Konvergenzlösung. Aber auch wenn zuvor das Generalproblem studiert wurde, fanden Gick und Holyoak interessanterweise nur ein Ansteigen der Lösungsrate auf 20%. Wurde allerdings zudem ein Hinweis auf den Zusammenhang beider Probleme gegeben, stieg die Nutzung der Konvergenzlösung auf 75%. Die Probanden hatten also wenig Schwierigkeiten damit, die beiden Probleme aufeinander abzubilden. Das größte Problem bestand darin, spontan die Relevanz der Analogie zu erkennen (Abruf).

Die Befunde von Gick und Holyoak (1980) haben zu einer großen Zahl von Folgeuntersuchungen geführt, die die Einflussfaktoren von Abruf und Abbildung untersucht haben (vgl. Holyoak & Thagard, 1995; Medin et al., 2004). Generell konnte für den Abruf von Analogien aus dem Gedächtnis gezeigt werden, dass er erheblich erleichtert wird, wenn die Analogien aus der gleichen oder einer sehr ähnlichen Domäne kommen. Hier scheint also vor allem die Oberflächenähnlichkeit der Elemente wichtig zu sein. Die Nutzung von Analogien beim Problemlösen ist sehr effektiv, wenn konkrete Beispiele aus dem gleichen Bereich gegeben werden. Man konnte allerdings auch eine Verbesserung der Leistung finden, wenn mehrere gleichartige Analogien gegeben wurden, die dazu führten, dass die Probanden selbst ein abstraktes Problemschema bildeten. Im Unterschied dazu sind beim Abbildungsprozess Strukturähnlichkeiten von größerer Bedeutung. Abbildung ist ein kognitiv aufwendiger Prozess, der hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis stellt und von den Probanden erfordert, von Oberflächenmerkmalen abzusehen.

Die Übersicht über die Problemlöseforschung hat deutlich gemacht, dass Vorwissen, Repräsentation und heuristische Strategien eng zusammenhängen und nicht isoliert voneinander gesehen werden können. Zunehmend wird klar, dass Wissen auf verschiedenen Abstraktionsstufen beim Problemlösen genutzt wird.

15.3 Deduktives und induktives Denken

Denkformen werden herkömmlich in **deduktive** und **induktive** Schlüsse unterteilt. Dabei gibt es mehrere Begriffe von Deduktion und Induktion: Deduktion wird traditionell als Schließen von Allgemeinem auf Besonderes verstanden, Induktion hingegen als Schließen von Besonderem auf Allgemeines. Das lässt sich mit einer **Wissenspyramide** veranschaulichen (Abb. 15.3). Deduktiv kann aus einer Theorie eine spezifischere Hypothese und daraus eine Beobachtungsvorhersage abgeleitet werden. Induktiv können Beobachtungen zu Hypothesen- oder Theoriebildung führen.

Deduktion wird in einer zweiten heute dominierenden Bedeutung auch als sicherer, logisch zwingender Schluss verstanden; Induktion im Kontrast dazu als unsicherer, also

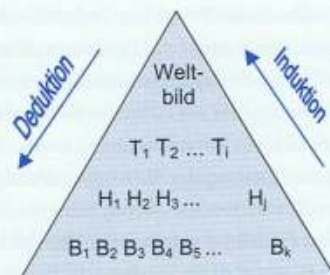


Abb. 15.3. Wissenspyramide aus Theorien (T), Hypothesen (H) und Beobachtungsaussagen (B)

gewissermaßen »unlogischer Schluss«, der qualitativer Art ist oder auf Wahrscheinlichkeiten beruht. Auch wenn beide Bedeutungen von Deduktion und Induktion meist zusammenfallen, tun sie das nicht immer. So gibt es auch unsichere Schlüsse von Allgemeinem auf Besonderes. Im Folgenden diskutieren wir psychologische Theorien und empirische Studien zum deduktiven und induktiven Denken (vgl. die Übersichten in Knoblich, 2002; Medin et al., 2004).

15.3.1 Deduktives Denken: Logik und Wissen

Um richtige von falschen deduktiven Schlüssen unterscheiden zu können, orientiert sich die Denkpsychologie an der **formalen Logik**. Die formale Logik wird traditionell als Norm für richtiges menschliches Denken betrachtet. Sie geht auf Aristoteles' »Organon« zurück und ist von Mathematikern und Philosophen verstärkt ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in ihre moderne Form gebracht worden. Die Logik heißt formal, weil allein aufgrund der Form bzw. der Syntax von Schlussfiguren die Richtigkeit oder Falschheit eines Schlusses bewertet wird, ganz ohne Berücksichtigung ihres Inhaltes bzw. ihrer Semantik. Gerade deshalb kann sie bereichsübergreifend, d. h. unabhängig vom jeweiligen Inhalt, angewendet werden.

Die **Aussagenlogik**, ein Teilbereich der formalen Logik, befasst sich mit der Verknüpfung von elementaren Aussagen durch sog. Junktoren wie NICHT, UND, ODER, WENN-DANN oder GENAU-DANN-WENN. Die Junktoren werden, teilweise auch abweichend vom alltagssprachlichen Gebrauch, vollständig durch ihre Wahrheitswerte definiert (Tab. 15.1).

Aufgrund der Wahrheitswerte zweier durch Junktoren verknüpfter Aussagen p und q ergibt sich automatisch der Wahrheitswert der Gesamtaussage. Etwa die komplexe Aussage »Das Dreieck ist schwarz oder der Kreis ist weiß« ist logisch genau dann wahr, wenn die Elementaraussage »Das Dreieck ist schwarz« wahr ist oder wenn die Elementaraussage »Der Kreis ist weiß« wahr ist oder wenn beide wahr sind. Dies lässt sich in der Wahrheitstafel des Junktors (einschließendes) ODER ablesen (Adjunktion). Nur die Wahrheit oder Falschheit der Elementaraussage p und die der Elementaraussage q ist für die Wahrheit oder Falschheit der Verknüpfung relevant, nicht deren Bedeutung. Eine grundlegende Frage der Denkpsychologie ist nun, ob menschliches Denken im Alltag eine Art formaler Aussagenlogik verwendet oder auf anderen Prinzipien beruht.

Wason Selection Task

Die von Peter Wason eingeführte, später nach ihm benannte »Wason Selection Task« (WST) ist die wohl meist untersuchte Aufgabe der Denkpsychologie (Wason, 1966). Bei der WST müssen Versuchspersonen anhand von 4 Karten eine Wenn-dann-Hypothese prüfen (Abb. 15.4). In der ursprünglichen abstrakten Version der WST lautete die zu

■ Tabelle 15.1. Wahrheitstabeln der fünf wichtigsten Junktoren. Die Elementaraussagen p und q repräsentieren Aussagen beliebigen Inhalts. Die Tafel zeigt, wann durch Junktoren verbundene Aussagen wahr oder falsch sind

Logisch mögliche Fälle		Negation NICHT p $\neg p$	Konjunktion p UND q $p \wedge q$	Adjunktion p ODER q $p \vee q$	Subjunktion (Implikation) WENN p DANN q $p \rightarrow q$	Bijunktion (Äquivalenz) p GENAU DANN WENN q $p \leftrightarrow q$
p	q					
wahr	wahr	falsch	wahr	wahr	wahr	wahr
wahr	falsch	falsch	falsch	wahr	falsch	falsch
falsch	wahr	wahr	falsch	wahr	wahr	falsch
falsch	falsch	wahr	falsch	falsch	wahr	wahr

prüfende Hypothese etwa: »Wenn eine Karte ein A auf einer Seite hat, dann hat sie eine 4 auf der anderen Seite.« Auf einer Seite der Karten befinden sich Buchstaben, auf der anderen Zahlen. Die Hypothese sollte als die Behauptung interpretiert werden, dass die logische Implikation $A \rightarrow 4$ immer gelte (■ Tab. 15.1).

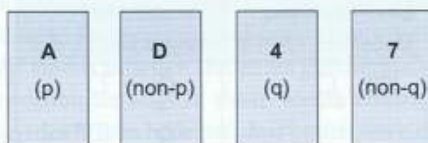
Die Aufgabe der Versuchspersonen besteht nun darin, genau diejenigen Karten umzudrehen, mit denen sie die Gültigkeit der Wenn-dann-Hypothese prüfen können. Die 4 sichtbaren Kartenseiten repräsentieren die 4 logisch möglichen Fälle: A (p), D (non-p), 4 (q), 7 (non-q).

Welche Karten sollten richtigerweise umgedreht werden? Nach der üblichen falsifikationistischen Deutung der WST kommt es darauf an, die Fälle auszuwählen, in denen die Hypothese falsifiziert werden kann. ■ Tabelle 15.1 zeigt, dass eine Wenn-dann-Aussage dann falsch ist, wenn gleichzeitig p wahr ist und q falsch. In der WST bedeutet dies, dass die aufgestellte Regel dann nicht gilt, wenn bei einer A-Karte auf der Rückseite keine 4 ist, oder bei einer 7-Karte auf der Rückseite (fälschlicherweise) ein A ist. Deshalb gelten normativ die p-Karte und die non-q-Karte (hier also die A-Karte und 7-Karte) als die richtige Antwort.

Bereits in frühen Untersuchungen zeigten sich bei dieser Aufgabe aber nur 4% richtige Antwortmuster. Solch desaströse Ergebnisse stellten das Konzept des »animal rationale« in Frage und regten stark zur psychologischen Theorienbildung an.

Konditionales und syllogistisches Schließen

Die WST untersucht, ob Menschen Aussagen logisch verstehen und die Richtigkeit einer Aussage falsifikationistisch



■ Abb. 15.4. Karten der ursprünglichen Wason-Selection-Aufgabe (WST) mit Buchstaben und Zahlen. Die logischen Klassen (p, q, non-p, non-q) dienen der Erläuterung. Sie werden in den Experimenten den Versuchsteilnehmern nicht gezeigt

prüfen. Beim **konditionalen Schließen** werden hingegen zwei Prämissen, nämlich eine Wenn-dann-Aussage und eine Einzelfallaussage, vorausgesetzt und daraus ein Schluss gezogen (Konklusion). Die Wenn-dann-Aussage könnte lauten: »Wenn ein Vogel ein Rabe ist, dann ist er schwarz.« Als Einzelaussage kommen die 4 logischen Fälle Rabe (p), Taube (non-p), schwarz (q) oder weiß (non-q) in Frage. In ■ Tab. 15.2 werden gültige und ungültige Schlussformen dargestellt. Beim **Modus Ponens** wird neben der Gültigkeit des Wenn-dann-Satzes die Gültigkeit des Vordersatz vorausgesetzt: Es sei nun ein Rabe (p). Daraus folgt, dass er schwarz ist (q). Logische Schlussformen gelten unabhängig von der Wahrheit der Prämissen P1 und P2. P1 könnte etwa lauten: »Wenn ich mich verliebe, bin ich der Kaiser von China« und P2 »Ich verliebe mich.« Logisch folgt daraus die Konklusion »Ich bin der Kaiser von China«. Eine andere Schlussform, der **Modus Tollens**, ist anwendbar bei Annahme der obigen Wenn-dann-Aussage, diesmal kombiniert mit der Setzung von non-q (»X sei nicht schwarz«). Aus diesen beiden Prämissen kann man auf non-p (»X ist kein Rabe«) schließen.

Wie bei der WST zeigten bereits frühe Studien zum konditionalen Schließen deutliche empirische Abweichun-

■ Tabelle 15.2. Gültige und ungültige konditionale Schlussformen

Schlussbezeichnungen	Abstraktes Schema
Modus ponens (logisch gültig)	P1: Wenn p dann q P2: p K: q
Modus tollens (logisch gültig)	P1: Wenn p dann q P2: non-q K: non-p
Bestätigung des Hinterglieds (logisch ungültig)	P1: Wenn p dann q P2: q K: p
Verneinung des Vorderglieds (logisch ungültig)	P1: Wenn p dann q P2: non-p K: non-q

gen von den normativen Regeln der Aussagenlogik. So konnte gezeigt werden, dass mehr Personen den **Modus Ponens** (fast 100%) als den **Modus Tollens** (etwa 50 %) beherrschen (vgl. Rips, 1994). Auch ungültige Schlüsse wurden fälschlicherweise immerhin von einem Drittel bzw. einem Fünftel der Personen für gültig gehalten.

Das **sylogistische Schließen** wurde bereits von Aristoteles behandelt und wird heute als ein Teil der Prädikatenlogik verstanden. Ein syllogistischer Schluss besteht aus zwei Prämissen (etwa P1: »Einige p sind q«; P2: »Alle q sind r«) und einer Konklusion (»Einige p sind r«). Anders als beim konditionalen Schließen wird in der Konklusion nun eine komplexe Aussage erschlossen. Sowohl Prämissen als auch Konklusion beinhalten Quantoren (ALLE, EINIGE, KEINE, EINIGE NICHT).

In Studien zu syllogistischen Schlüssen wurde ebenfalls eine Reihe häufiger Fehlertypen gefunden. Ein Fehler, der an die Fehler bei der WST und beim konditionalen Schließen erinnert, ist der sog. Konversionsfehler. Dabei wird aus »Alle p sind q« und aus »Alle q sind r« nicht nur »Alle p sind r« gefolgert, sondern fälschlicherweise auch die Umkehrung »Alle r sind p«. Andere typische Fehler treten auf, wenn Versuchsteilnehmer die Konklusion aufgrund der Übereinstimmung mit ihrem Vorwissen bejahen, obwohl sie logisch falsch ist (»belief bias«), oder wenn sie die Konklusion bejahen, weil sie die gleichen Quantoren enthält wie die Prämissen (»Atmosphärentheorie«; vgl. Knoblich, 2002).

Bei allen drei skizzierten Forschungsbereichen, der WST, dem konditionalen Schließen und dem syllogistischen Schließen, zeigen Menschen also systematische Abweichungen vom normativen Modell der formalen Logik. Psychologen haben sich deshalb bemüht, psychologisch plausible Theorien des logischen Schließens im Alltag zu finden, die besser in der Lage sind, die Denkprozesse von nicht in formaler Logik geschulten Probanden zu erklären.

Die Theorien der mentalen Logik und der mentalen Modelle

Die Theorien der mentalen Logik (z. B. Rips, 1994) und die der mentalen Modelle (z. B. Johnson-Laird & Byrne, 2002) sind zwei bereits länger diskutierte konkurrierende Ansätze, die versuchen, logisches Denken im Alltag zu erklären. Die Ansätze einer **mentalen Logik** nehmen an, dass Menschen Schlussfolgerungen aufgrund von abstrakten logikähnlichen Regeln oder Schemata ziehen, dabei aber nur einen im Vergleich zur formalen Logik reduzierten Regelsatz verwenden. Zu diesem Regelsatz gehöre etwa der Modus Ponens, nicht aber der Modus Tollens. Die schlechten Ergebnisse beim Modus Tollens würden sich daraus ergeben, dass dieser Schluss erst aufgrund mehrerer Regeln nachgebildet werden müsse. Je länger eine solche nachgebildete Schlusskette sei, desto höher sei die Fehlerwahrscheinlichkeit.

Die Theorien der **mentalen Modelle** (vgl. z. B. Johnson-Laird & Byrne, 2002) stellen nicht abstrakte Schlussre-

geln wie den Modus Ponens, sondern die Repräsentation der Bedeutung der Prämissen (mentale Modelle) in den Mittelpunkt ihrer Analyse. Hören wir beispielsweise die Aussage »Alle Künstler sind kreativ«, dann stellen wir uns gemäß der Theorie mentaler Modelle eine Menge von kreativen Künstlern vor. Alle weiteren Schlüsse vollziehen wir dann auf der Basis dieses mentalen Modells.

Das Schließen basiert der Theorie der mentalen Modelle zufolge auf der mentalen Repräsentation der **wahren Fälle** einer logischen Wahrheitstafel (■ Tab. 15.1) als einzelne Teile eines mentalen Modells. Während in der Theorie der mentalen Logik Schlussfehler durch einen reduzierten logischen Regelsatz erklärt werden, erklärt die Theorie der mentalen Modelle Schlussfehler durch unvollständige mentale Repräsentationen der Möglichkeiten, die durch die Prämissen beschrieben werden. Um die kognitive Verarbeitungslast zu reduzieren, repräsentieren Menschen so wenig Information wie möglich.

Die Aussage »Wenn hier ein Kreis ist, dann ist dort ein Viereck« wird etwa zunächst durch ein reduziertes Teilmodell eines Kreises und eines Viereckes mental repräsentiert (■ Abb. 15.5, links). Die eckigen Klammern um den Kreis in der graphischen Darstellung zeigen an, dass der Fall vollständig repräsentiert wird: Bei gegebenem Kreis gibt es immer ein Viereck. Die Punkte indizieren, dass das Modell als Ganzes aber noch nicht vollständig ist. Erst wenn das Modell vervollständigt wird (■ Abb. 15.5, rechts), würden in ihm alle wahren Fälle als Möglichkeiten mental dargestellt. Im Vergleich mit der logischen Wenn-dann-Wahrheitstafel (■ Tab. 15.1) werden gewissermaßen im unvollständigen Modell zunächst die erste Zeile, im vollständigen Modell dann alle Zeilen durch ihre wahren (erlaubten) Fälle repräsentiert.

Beim **Modus Ponens** (■ Tab. 15.2), bei dem gemäß der zweiten Prämisse ein Kreis vorgegeben wäre, wird gemäß der Theorie der mentalen Modelle zusätzlich ein Kreis mental repräsentiert und dieser dann mit dem unvollständigen oder vollständigen Modell kombiniert. Sowohl aufgrund des vollständigen als auch aufgrund des unvollständigen Modells folgt, dass auch ein Viereck vorliegen müsste. Beim **Modus Tollens** müsste eigentlich aus der Abwesenheit des Viereckes □ die Abwesenheit des Kreises ○ gefolgert werden. Nach der Theorie der mentalen Modelle erklären sich die Schwierigkeiten hierbei dadurch, dass der kor-

Unvollständiges Modell von $\bigcirc \rightarrow \square$	Vollständiges Modell von $\bigcirc \rightarrow \square$
[○] □	○ □
...	$\neg \bigcirc$ □
	$\neg \bigcirc$ $\neg \square$

■ **Abb. 15.5.** Vollständiges und unvollständiges mentales Modell einer Wenn-dann-Aussage

rechte Schluss erst bei einem vervollständigten Modell gezogen werden kann. Operieren die Versuchsteilnehmer aber mit dem unvollständigen Modell, wäre der Schluss überhaupt nicht möglich. Die Theorie der mentalen Modelle erklärt auch das Vorherrschen von p- und q-Wahlen in der WST dadurch, dass in einem unvollständigen Modell nur diese bestätigenden Fälle repräsentiert würden.

Effekte von spezifischem Vorwissen

Theorien, die sich an abstrakten logischen Schlüssen orientieren, haben Probleme mit Befunden, die zeigen, dass logische Kompetenzen abhängig vom Inhaltsbereich sind (**Inhaltseffekte**). Ein klassischer Befund stammt von Johnson-Laird, Legrenzi und Legrenzi (1972), die gezeigt haben, dass in vertrauten Domänen durchaus gute Leistungen bei der WST nachgewiesen werden können. In dem Experiment sollten sich Versuchspersonen vorstellen, sie sollten in einem Postamt folgende Regel prüfen: »Wenn ein Brief versiegelt ist, dann muss auf der anderen Seite der Brief mit einer 50-Lira-Marke frankiert sein.« Die Regel konnte anhand von 4 Briefen geprüft werden: ein versiegelter Umschlag, ein unversiegelter Umschlag, ein Umschlag mit 50-Lira-Frankierung und einer mit 40-Lira-Frankierung. Die jeweiligen Rückseiten waren unbekannt. Richtigerweise wurden überwiegend der versiegelte Umschlag (p) und der Umschlag mit 40-Lira-Frankierung (non-q) umgedreht. Die bessere Leistung schien im Vergleich zu abstrakten Aufgaben dadurch zustande zu kommen, dass die Versuchspersonen mit der postalischen Regel vertraut waren.

Abstraktes Domänenwissen

Die **Theorie der pragmatischen Denkschemata** von Cheng und Holyoak (1985) und die evolutionsbiologisch inspirierte **Theorie sozialer Kontrakte** von Cosmides (1989) brechen gänzlich mit dem normativen Ansatz der formalen Aussagenlogik. Sie gehen ebenfalls von Inhaltseffekten aus. Sie interessieren sich aber für Fälle, bei denen Inhaltseffekte nicht auf eine spezifische Vertrautheit mit einer konkreten Situation zurückgehen, sondern vergleichsweise abstraktes Wissen aktiviert wird. Beide Theorien nehmen domänenspezifische (bereichsspezifische) Schemata von mittlerer Abstraktheit an.

Cheng und Holyoak (1985) zeigten in einer Studie zunächst, dass der Vereinfachungseffekt der Postregel nur bei Studierenden aus Hongkong – wo eine solche Regel bekannt war –, nicht aber bei Studierenden aus den USA auftrat, die eine solche Regel nicht kannten. Zusätzlich zeigten sie aber auch, dass bei einer kurzen Erklärung des Sinns der Regel die amerikanischen Studenten gleichermaßen richtige Antwortmuster zeigten. Ihnen wurde erklärt, dass das Zukleben des Briefes bedeutet, dass es sich um einen teuren persönlichen Brief handelt. Nach Cheng und Holyoak ist weniger die spezifische Vorerfahrung für die Verbesserung der Leistung verantwortlich, sondern die Aktivierung eines pragmatischen Erlaubnis- oder Verpflichtungssche-

mas. Das Erlaubnisschema besagt beispielsweise »Wenn eine Handlung X durchgeführt werden soll, dann muss die Bedingung Y erfüllt sein.« Situationen, die dieses Schema aktivieren, veranlassen die Probanden, zu überprüfen, ob die Handlung durchgeführt wurde (p) oder die Bedingung Y verletzt wurde (non-q; also ob Eilbriefe nicht fälschlicherweise mit zu wenig Porto frankiert wurden). Pragmatische Schemata sind nicht so allgemein wie logische Schlusschemata, aber sie sind abstrakter als spezifisches Wissen (etwa über Briefe), weil sie die große Klasse von Situationen umfassen, die mit Erlaubnis oder Verpflichtung zu tun haben.

Cosmides (1989) vertritt einen ähnlichen domänenspezifischen Ansatz, den sie aus evolutionspsychologischen Annahmen ableitet. Cosmides hat sich intensiv mit Aufgaben befasst, die soziale Vertragssituationen beschreiben (»Wenn Du die Kosten zahlst, dann wirst Du einen Vorteil erhalten«). Sie geht davon aus, dass uns die Evolution mit kognitiven Modulen ausgestattet hat, die uns in die Lage versetzen, betrügerische Handlungen effektiv zu erkennen (»cheater detection«). In einer Serie von Experimenten (Varianten der WST) lieferte Cosmides Belege dafür, dass Probanden statt der logisch erwarteten p- und non-q-Karten die unlogischen non-p- und q-Karten wählten. Sie würden, so Cosmides, ihr domänenspezifisches Regelwissen über mögliche Verletzungen sozialer Vertragssituationen einsetzen.

Die Bayesianische Theorie von Oaksford und Chater (1994) ist ein ganz anderes Beispiel für eine vorwissensbasierte abstrakte Theorie. Diese Theorie geht ebenfalls davon aus, dass logisches Schließen Vorwissen über die Domäne nutzt, in diesem Fall statistische Vorannahmen über Häufigkeiten von Ereignissen. Welche Informationen für eine Falsifikation oder Bestätigung einer Wenn-dann-Aussage besonders informativ sind, hängt bei einem Urteil unter Unsicherheit nicht nur von der logischen Struktur der Aussage ab, sondern auch davon, wie wahrscheinlich unterschiedliche Sachverhalte sind, die man zur Überprüfung der Hypothese heranziehen kann. Chater und Oaksford konnten zeigen, dass bei plausiblen Annahmen über die Auftretenswahrscheinlichkeiten von p und q in der WST das Verhalten der Probanden im Sinne eines Bayesianischen Ansatzes als rational beschrieben werden kann.

In den letzten Jahren ist auch das Interesse an konditionalem Schließen mit **kausalen Prämissen** gestiegen (für einen Überblick vgl. Hagmayer & Waldmann, im Druck). In einer der ersten Studien aus diesem Bereich hat Cummins (1995) Schlüsse aus Prämissen wie »Wenn die Bremse getreten wird, stoppt das Auto« untersucht. Sie konnte zeigen, dass die Schlüsse in kausalen Szenarios sensibel waren für Annahmen über alternative Ursachen (z. B. des Stoppens von Autos) und für Faktoren, die die Wirksamkeit des Kausalzusammenhangs außer Kraft setzen können. Wissen über Ursache-Effekt-Zusammenhänge kann sehr spezifisch sein, wie in diesem Beispiel. Kausale Strukturen haben aber

auch allgemeine Merkmale, die alle Bereiche betreffen, in denen Kausalität eine Rolle spielt. So gibt es beispielsweise, unabhängig von der Domäne, allgemeine Unterschiede zwischen Ursachen und Wirkungen, die beim Denken genutzt werden (Hagmayer & Waldmann, im Druck).

15.3.2 Induktives Denken: Hypothesenbildung und Generalisierung

Beim induktiven Denken geht es um unsichere verallgemeinernde Schlüsse, die aus einzelnen Beobachtungen oder Prämissen gezogen werden. Induktive Prozesse gibt es in vielen Bereichen der Psychologie. Konzepterwerb, Lernen, analoger Transfer oder wissenschaftliche Hypothesenbildung sind alles Phänomene, bei denen wir aus einer endlichen Menge von Beobachtungen zumindest tentativ auf allgemeine Zusammenhänge schließen. Die Wahrheit der verallgemeinernden Hypothese kann niemals als sicher angenommen werden, da es jederzeit denkbar ist, dass weitere Erfahrungen die aufgestellte Hypothese in Frage stellen.

Hypothesentesten, Bestätigungsfehler und positive Teststrategie

Die 2-4-6-Aufgabe von Wason (1960) ist eine klassische Aufgabe zur Untersuchung induktiven Schließens. Dabei werden die Teilnehmer aufgefordert, eine Regel herauszufinden, die vorgegebenen Zahlenfolgen zugrunde liegt. Die Regel, die der Versuchsleiter im Kopf hat, lautet: »Alle Dreierfolgen mit aufsteigenden Zahlen.« Den Versuchsteilnehmern wird anfangs aber nur ein Beispiel vorgelegt, das der Regel entspricht, nämlich die Folge 2-4-6. Danach werden die Teilnehmer aufgefordert, selbst Zahlentripel zu nennen, mit denen sie ihre Hypothesen prüfen wollen und einen Grund für ihre Wahl anzugeben. Der Versuchsleiter gibt nur an, ob eine Folge seiner Regel entspricht oder nicht, die Regel nennt er nicht. Am Ende werden die Teilnehmer gefragt, welche Regel sie vermuten.

Wason (1960) fand nun, dass Versuchspersonen überwiegend bestätigende statt falsifizierende Tripel erzeugen. Die Versuchspersonen nahmen etwa häufig die Regel »um 2 ansteigende Zahlen« an und prüften sie mit Reihen wie »5-7-9« oder »26-28-30«, nicht aber mit Tripeln wie »6-7-8«. Mit dieser Strategie können Versuchspersonen nie erkennen, dass ihre Hypothese falsch ist. Wason nannte dieses Phänomen **Bestätigungsfehler** (»confirmation bias«).

Nicht alle Forscher stimmten mit der Deutung überein, dass der Bestätigungsfehler ein genereller Fehler ist. Klayman und Ha (1987) argumentierten, dass die Bestätigungstendenz kein Fehler, sondern eine sog. **positive Teststrategie** sei, die rational sei, wenn man die plausible Annahme macht, dass bestätigende Informationen seltener sind als falsifizierende. Da Wason eine Hypothese gewählt hat, bei der dies nicht der Fall ist, scheiterte diese Heuristik, generell

führe sie aber in den meisten Fällen zu der richtigen Antwort.

Wissenseinflüsse und kategorienbasierte Induktion

Induktive Schlüsse hängen nicht nur von den beobachteten Sachverhalten ab, sondern auch von Vorwissen über die Lerndomäne. Probanden, die einige Exemplare einer unbekannteren Spezies beobachtet haben, erwarten eher, dass weitere Tiere, die zu dieser Spezies gehören, die gleiche Fellfarbe haben als das gleiche Gewicht (vgl. Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986). Dies hängt damit zusammen, dass die meisten Personen eine kausale Theorie haben, die davon ausgeht, dass die Farbe durch stabile Merkmale der Genetik bestimmt wird, während das Gewicht stärker von variablen Umweltgegebenheiten determiniert wird.

Der enge Zusammenhang von begrifflichem Wissen und induktivem Schließen wird auch in Untersuchungen zum kategorienbasierten induktiven Schließen untersucht. Begriffliches Wissen ist häufig in Form von Taxonomien organisiert, wobei die Begriffsforschung zeigte, dass es sich hier nicht nur um logische Einschlussbeziehungen handelt, sondern dass wir auch Ähnlichkeitsbeziehungen annehmen (z. B. Rotkehlchen werden als typischer für die übergeordnete Kategorie Vögel gesehen als Straußenvögel) (für Zusammenfassungen der Begriffsforschung vgl. Murphy, 2002; Waldmann, 2002). Ein Beispiel für einen Schluss, der taxonomisches Wissen und die darin enthaltenen Ähnlichkeitsbeziehungen nutzt, ist ein Argument mit der Prämisse »Rotkehlchen haben die Eigenschaft X« und entweder der Konklusion »Straußenvögel haben die Eigenschaft X« oder der Konklusion »Alle Vögel haben die Eigenschaft X«. Für X werden Eigenschaften gewählt, bei denen die Probanden nicht wissen, ob sie auf die Aussagen zutreffen oder nicht (z. B. »haben eine hohe Konzentration von Kalium im Blut«). Die Aufgabe besteht darin zu entscheiden, welches Argument stärker ist. In dem Beispiel finden Versuchsteilnehmer interessanterweise den Schluss auf Straußenvögel schwächer als den Schluss auf alle Vögel, obwohl Straußenvögel eine Teilmenge der Menge der Vögel sind.

Osherson, Smith, Wilkie, Lopez und Shafir (1990) haben ein einflussreiches Modell der kategorienbasierten Induktion (»similarity-coverage model«) entwickelt. Die Stärke eines Arguments wird in diesem Modell von zwei Faktoren beeinflusst: der Ähnlichkeit zwischen der Kategorie in der Prämisse und der Kategorie in der Konklusion und der Ähnlichkeit der Kategorie in der Prämisse zur niedrigsten taxonomischen Kategorie, die noch die Kategorien in Prämisse und Konklusion umspannt. So wird die Argumentstärke zwischen der Prämisse über Rotkehlchen und der Konklusion über Vögel so bestimmt, dass man zunächst die Ähnlichkeit von Rotkehlchen zu Vogel bestimmt (die perfekt ist, weil Rotkehlchen Vögel sind). Dann wird die Ähnlichkeit zu anderen Exemplaren der Kategorie Vogel abgeschätzt. (Vogel ist die niedrigste Kategorie, die »Rotkehl-

chen« und »Vogel« umspannt.) Daraus folgt, dass ein Argument von Rotkehlchen auf Vögel als stärker empfunden wird als ein Argument von Straußenvögeln auf Vögel, weil Rotkehlchen typischere Vögel sind und damit eine höhere Ähnlichkeit zu anderen Exemplaren haben. Das Modell macht eine Reihe intuitiv plausibler, aber auch überraschende Vorhersagen zum wissensbasierten induktiven Schließen.

15.3.3 Induktives Denken mit Wahrscheinlichkeiten

Induktives Denken nutzt häufig Informationen über Wahrscheinlichkeiten. Ein Arzt, der nach der Durchführung von Tests ein hohes Risiko für eine SARS-Erkrankung diagnostiziert, wird Quarantänemaßnahmen einleiten, selbst wenn die Diagnose nicht vollkommen sicher ist. Wahrscheinlichkeitsschlüsse sind also ebenfalls Schlüsse unter Unsicherheit und fallen deshalb in die Klasse induktiven Denkens. Psychologische Untersuchungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass das Denken mit Wahrscheinlichkeiten, gemessen an den normativen Vorgaben der seit dem 17. Jahrhundert entwickelten Wahrscheinlichkeitstheorie, systematischen Verzerrungen unterliegt. Damit ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim deduktiven Denken, das ebenfalls nicht den Vorgaben der formalen Logik entspricht (für eine Zusammenfassung der Forschung vgl. Baron, 2000).

Basisraten-Vernachlässigung

Untersuchungen zur Berücksichtigung von Basisraten gehören zu den klassischen Beispielen für die Defizite des menschlichen Denkens mit Wahrscheinlichkeiten. In einer einflussreichen Studie haben Tversky und Kahneman (1980) dieses Phänomen untersucht. In einem Experiment wurde Versuchspersonen gesagt, dass ein Augenzeuge bei einem Unfall ein am Unfall beteiligtes Taxi als blau identifiziert hat. In dieser Stadt gebe es blaue und grüne Taxis, wobei grüne häufiger (85%) seien als blaue (15%). Dies ist die Basisrateninformation. Des Weiteren erhielten die Probanden die Information, dass Untersuchungen ergeben haben, dass Augenzeugen die beiden Farben in 80% der Fälle richtig und in 20% der Fälle falsch identifizieren. Die Aufgabe bestand nun darin, die Wahrscheinlichkeit einzuschätzen, dass das Taxi tatsächlich blau war.

Die Wahrscheinlichkeitseinschätzungen der Versuchsteilnehmer zeigten, dass die Information über die Basisraten von blauen und grünen Taxis faktisch vernachlässigt wurde. Richtig wäre es, diese Information mit der Information über die Zuverlässigkeit des Urteils des Augenzeugen zu verknüpfen. Während die Wahrscheinlichkeit für ein blaues Taxi in diesem Fall gemäß der Wahrscheinlichkeitstheorie (Bayes-Theorem) nur 0,41 beträgt, nannten die meisten Probanden Werte über 0,5, viele gar 0,8. Tversky

und Kahneman nannten dieses Phänomen Basisraten-Vernachlässigung (»base rate neglect«).

Die Allgemeinheit dieses Phänomens wird in den letzten Jahren in Frage gestellt. Es zeigte sich, dass es nur gemildert oder gar nicht auftritt, wenn die Probanden nicht Zusammenfassungen der Daten sehen, sondern die Informationen in einzelnen Lerndurchgängen präsentiert bekommen. Schwierigkeiten haben die Probanden vorwiegend mit den Wahrscheinlichkeitsaussagen. Erhalten sie die relevanten Informationen stattdessen in Form von Häufigkeitsinformationen (z. B. »80 Taxis sind blau, 20 grün«), verbessern sich die Leistungen deutlich (vgl. Gigerenzer & Hoffrage, 1995).

Konjunktionsfehler

Der Konjunktionsfehler ist ein weiteres Beispiel für fehlerhaftes Denken mit Wahrscheinlichkeiten. Ein typisches Beispiel ist das »Linda-Problem« (Tversky & Kahneman, 1983), bei dem Versuchspersonen eine Beschreibung der fiktiven 31-jährigen Linda gegeben wurde. Sie sei ein Single, sehr intelligent, direkt und habe einen Abschluss in Philosophie. Linda engagiere sich persönlich bei Themen der Diskriminierung und der sozialen Gerechtigkeit. Sie nehme häufig an Anti-Atomkraft-Demonstrationen teil. Die Versuchspersonen sollten daraufhin die Wahrscheinlichkeitsränge der folgenden Sätze zusammen mit anderen Aussagen einschätzen: 1. Linda ist Bankkassiererin. 2. Linda ist Bankkassiererin und aktiv in der Frauenbewegung.

Die zweite Aussage enthält eine zusätzlich zu erfüllende Bedingung gegenüber der ersten und kann somit nicht wahrscheinlicher sein (alle in der Frauenbewegung aktiven Bankkassiererinnen sind notwendigerweise eine Teilmenge der Menge der Bankkassiererinnen). Dennoch schätzten 85% der Probanden die Konjunktion (Aussage 2) als wahrscheinlicher ein als die Einzelaussage.

Der Konjunktionsfehler hat ebenso wie die Basisraten-Vernachlässigung eine Vielzahl von Folgestudien motiviert, die einige Randbedingungen für den Befund aufgeklärt haben. Bereits Tversky und Kahneman (1983) konnten zeigen, dass der Fehler nur reduziert auftritt, wenn man Häufigkeitsinformationen vorgibt. Eine weitere Erklärung für den Befund stellt in Frage, dass die Versuchsteilnehmer das »und« im Sinne eines logischen Junktors verstehen.

Theoretische Erklärungsansätze: Heuristiken und Fehler vs. ökologische Rationalität

Kahneman und Tversky sind die Begründer des bis heute einflussreichen **Heuristiken-und-Fehler-Forschungsprogramms** (»heuristics and biases«) (Kurzbiographien von Kahneman und Tversky ► Kap. 60). Die Grundannahme dieses Programms ist, dass in formaler Logik oder Wahrscheinlichkeitstheorie ungeschulte Probanden beim induktiven Schließen auf Heuristiken zurückgreifen, die nichts mit formaler Logik oder mit dem normativen Wahrscheinlichkeitskalkül zu tun haben. Diese Heuristiken führen oft

zu richtigen Antworten, in manchen Situationen aber auch zu systematischen Fehlern. Menschen werden in dem Heuristiken-und-Fehler-Forschungsprogramm als in vielen Bereichen irrationale Wesen gesehen.

Ein Beispiel für eine Heuristik ist die **Repräsentativitätsheuristik** (für eine Diskussion anderer Heuristiken vgl. Baron, 2000). Gemäß dieser Heuristik verwenden Menschen die Ähnlichkeit zwischen der spezifischen Beobachtung und der allgemeinen Kategorie als Maß für die Wahrscheinlichkeit. Die Aussage, man habe ein blaues Taxi gesehen, ist typischer bzw. repräsentativer, wenn man Taxis aus der blauen Gruppe vor sich hat, als grüne. Deshalb wird die Wahrscheinlichkeit, ein blaues Taxi gesehen zu haben, hoch eingeschätzt. Ähnlich ist die beschriebene Linda typischer für eine feministische Bankkassiererin als für Bankassistentinnen i. Allg. Dies ist der Grund für die höhere Wahrscheinlichkeitseinschätzung für die Kategorie feministische Bankkassiererin.

Gerd Gigerenzer und seine Forschungsgruppe haben aus einer evolutionspsychologischen Perspektive diesen Heuristiken-und-Fehler-Ansatz kritisiert und stattdessen einen **ökologischen Rationalitätsansatz** propagiert, der u. a. auf Überlegungen von H.A. Simon aufbaut (Kurzbiographie in ► Kap. 34; vgl. Gigerenzer, Todd & the ABC Research Group, 1999). Ein zentraler Kritikpunkt ist, dass der Heuristiken-und-Fehler-Ansatz weiterhin Logik und Wahrscheinlichkeitstheorie als normative Maßstäbe für rationales Denken unterstellt. Dem ökologischen Ansatz zufolge sollte Rationalität hingegen als biologische oder auch gelernte Anpassung an eine Umwelt verstanden werden. Scheinbare Fehler können adaptiv in einer bestimmten Umwelt sein, sodass man nicht allgemein von Fehlern sprechen sollte.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die ökologische Repräsentativität der Laborexperimente von Tversky und Kahneman. Gigerenzer und Mitarbeiter werfen dem Heuristiken-und-Fehler-Ansatz vor, die Umwelt nicht genügend analysiert zu haben, in der bestimmte Aufgaben auftreten. Die Überlegenheit von Häufigkeitsinformationen, auf die bei der Diskussion der Basisraten-Vernachlässigung und des Konjunktionsfehlers hingewiesen wurde, erklärt sich dem ökologischen Rationalitätsansatz zufolge daraus, dass unsere Spezies in der Evolutionsgeschichte viel mit Häufigkeitsinformationen zu tun hatte, während der Wahrscheinlichkeitsbegriff erst vergleichsweise spät von Philosophen und Mathematikern entwickelt wurde.

Gigerenzer und Kollegen folgen Simons Konzept der »bounded rationality«, indem sie die Analyse der Umweltstruktur mit Annahmen über menschliche Kapazitätsgrenzen verknüpfen. Menschen haben nicht, wie etwa der Laplace'sche Dämon, unendlich viel Zeit und Kapazität, um einzelne Probleme zu lösen. Ein Rationalitätskonzept, das unrealistische Annahmen macht, sei wenig produktiv. Gigerenzer und Mitarbeiter postulieren deshalb eine »adaptive Werkzeugkiste«, die einfache Heuristiken (»fast and frugal«) enthält, die bereichsspezifisch eingesetzt werden.

Auch dieser Ansatz wurde in den letzten Jahren kritisiert. So ist umstritten, ob menschliches Denken und Handeln tatsächlich immer rational im Sinne einer fitnessoptimierenden Umwelthanpassung ist und ob unser Denken tatsächlich die von Gigerenzer und Kollegen postulierte »adaptive Werkzeugkiste« nutzt.

15.4 Resümee

Die Diskussion der Bereiche Problemlösen und Denken hat eine Reihe paralleler Entwicklungen deutlich gemacht. Die aus traditionellen Ansätzen abgeleitete Vorstellung, das menschliche Denken und Problemlösen sei ausschließlich durch abstrakte, bereichsunabhängige Prozesse bestimmt, hat sich als problematisch erwiesen. Sowohl beim Problemlösen als auch beim Denken stellte sich heraus, dass ungeschulte Probanden nur selten auf abstrakte Algorithmen oder formale Kalküle zurückgreifen, sondern eher wissens- und bereichsabhängige Heuristiken und Schemata einsetzen.

Deutlich wurde die große Rolle des Wissens sowohl beim Problemlösen als auch beim Denken. Die Dichotomie von Denkprozess und Denkergebnis, von Wissen und Schließen ist aus psychologischer Sicht fragwürdig. Verfügenden Personen über spezifisches Wissen, wird dieses Wissen genutzt und verändert. Problemlösen kann aber auch von Analogien aus vollkommen verschiedenen Bereichen profitieren. Denken nutzt häufig allgemeine Schemata mittleren Abstraktionsgrades (z. B. Erlaubnischema) oder höchst allgemeine Vorannahmen über statistische Eigenschaften der Domäne (z. B. Häufigkeit von Ereignissen).

Wir sind derzeit noch weit von einer einheitlichen Theorie entfernt, die Problemlösen und Denken erklärt. Die Zusammenfassung aktueller Forschung hat aber deutlich gemacht, dass eine solche Theorie nur möglich ist, wenn Wissen, Denken und Problemlösen als Einheit gesehen werden.

Literatur

Referenzliteratur

- Baron, J. (2000). *Thinking and deciding* (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Holyoak, K.J. & Thagard, P.R. (1995). *Mental leaps*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Knoblich, G. (2002). Problemlösen und logisches Schließen. In J. Müsseleler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 645–699). Heidelberg: Spektrum.
- Medin, D.L., Ross, B.H. & Markman, A.B. (2004). *Cognitive psychology* (4th ed.). Fort Worth: Harcourt College Publishers.
- Waldmann, M.R. (2002). Kategorisierung und Wissenserwerb. In J. Müsseleler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 432–491). Heidelberg: Spektrum.

Zitierte Literatur

- Anderson, J.R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chase, W.G. & Simon, H.A. (1973). The mind's eye in chess. In W.C. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.
- Cheng, P.W. & Holyoak, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391–416.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? *Cognition*, 31, 187–276.
- Cummins, D.D. (1995). Naïve theories and causal deduction. *Memory and Cognition*, 23, 646–658.
- De Groot, A.D. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague: Mouton.
- Dörner, D. (1981). Über die Schwierigkeit menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau*, 32, 163–179.
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Heidelberg: Springer.
- Ericsson, K.A. (1996). *The road to excellence: the acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Gick, M.L. & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306–355.
- Gigerenzer, G. & Hoffrage, U. (1995). How to improve Bayesian reasoning without instruction: Frequency formats. *Psychological Review*, 102, 684–704.
- Gigerenzer, G., Todd, P.M. & ABC Research Group (1999). *Simple heuristics that make us smart*. Oxford: Oxford University Press.
- Hagmayer, Y. & Waldmann, M.R. (in Druck). Kausales Denken. In J. Funke (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Denken und Problemlösen* (Band C/II/8). Göttingen: Hogrefe.
- Holland, J.H., Holyoak, K. J., Nisbett, R.E. & Thagard, P.R. (1986). *Induction. Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Johnson-Laird, P.N. & Byrne, R.M.J. (2002). Conditionals: a theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, 109, 646–678.
- Johnson-Laird, P.N., Legrenzi, P. & Legrenzi, M. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63, 395–400.
- Kaplan, C.A. & Simon, H.A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, 22, 374–419.
- Klayman, J. & Ha, Y.-W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211–228.
- Kotovsky, K., Hayes, J.R. & Simon, H.A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248–294.
- Luchins, A.S. & Luchins, E.H. (1959). *Rigidity of behavior: A variational approach to the effect of Einstellung*. Eugene, OR: University of Oregon Press.
- Metcalf, J. & Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & Cognition*, 15, 238–246.
- Murphy, G.L. (2002). *The big book of concepts*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Oaksford, M. & Chater, N. (1994). A rational analysis of the selection task as optimal data selection. *Psychological Review*, 101, 608–631.
- Osherson, D.N., Smith, E.E., Wilkie, O., López, A. & Shafir, E. (1990). Category-based induction. *Psychological Review*, 97, 185–200.
- Rips, L.J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Simon, H.A. (1978). Information processing theory of human problem solving. In W.K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes* (Vol. 5). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1980). Causal schemas in judgments under uncertainty. In M. Fishbein (Ed.), *Progress in social psychology* (pp. 49–72). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: the conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, 90, 293–315.
- Waldmann, M.R. & Weinert, F.E. (1990). *Intelligenz und Denken. Perspektiven der Hochbegabungsforschung*. Göttingen: Hogrefe.
- Wason, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129–140.
- Wason, P.C. (1966). Reasoning. In B.M. Foss (Ed.), *New horizons in psychology*. Harmondsworth: Penguin.
- Wertheimer, M. (1964). *Produktives Denken*. Frankfurt am Main: Kramer.