

Einsicht und Umstrukturierung beim Problemlösen

Beitrag für den Band C/II/8 der Enzyklopädie der Psychologie

“Denken und Problemlösen”

Günther Knoblich und Michael Öllinger

Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften,

Abteilung Psychologie

München

Adresse: Amalienstrasse 33,
80799 München

Telefon: 089/38602-261 oder -232

Fax: ++49 (89) 38602-199

Email: knoblich@cbs.mpg.de, oellinger@cbs.mpg.de

Einsicht und Umstrukturierung beim Problemlösen

Das Phänomen Einsicht hat die Menschheit seit jeher fasziniert. So existieren zahlreiche Anekdoten, in denen Wissenschaftler über plötzliche Geistesblitze berichten, die schließlich zu bahnbrechenden Erkenntnissen führten. Einige dieser Überlieferungen reichen bis in die Zeit der alten Griechen zurück. So wird z.B. von Archimedes überliefert, dass König Hiero ihn beauftragte, herauszufinden, ob eine Krone tatsächlich aus purem Gold bestehe. Die Krone dürfe dabei aber nicht beschädigt werden. Der König hatte nämlich den Goldschmied im Verdacht, ihn hintergangen und unedle Metalle beigemischt zu haben. Archimedes sann lange über dieses Problem nach, kam aber mit der Lösung nicht recht voran. Eines Tages, als er ein Bad nehmen wollte und in die Wanne stieg, beobachtete er, wie beim Hineinsteigen der Wasserstand anstieg. Schlagartig sprang er aus der Wanne und lief „Heureka“ rufend durch die Stadt. Er hatte plötzlich die Einsicht gewonnen, dass er von der Verdrängung von Wasser in einem Gefäß indirekt auf die Dichte von Körpern schließen konnte. Von dieser Erkenntnis geleitet, nahm er also Goldmünzen, die genau so schwer waren wie die Krone, und stellte fest, dass diese Goldmünzen weniger Wasser verdrängten, also eine größere Dichte hatten, als die Krone. Der Goldschmied hatte den König also tatsächlich betrogen (Gruber, 1995).

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts häuften sich solche Anekdoten im Bereich der Wissenschaft (Boden, 1991; Gruber, 1995; Helmholtz, 1896; Poincaré, 1952; Wallas, 1926; Wertheimer, 1964). So erzählte der Chemiker Kekulé, dass er nach langem und mühsamem Suchen die Ringstruktur des Benzolrings entdeckt habe, während er vor dem Kamin schlummernd von einer Schlange geträumt habe, die sich in den Schwanz beißt. Der Mathematiker Poincaré berichtete, dass sich ihm die Idee, eine neue Klasse von mathematischen Funktionen zu postulieren, vollkommen plötzlich offenbarte, als er während einer Reise in sein Gefährt einstieg. Verblüffenderweise war das Ziel der Reise gerade gewesen, die erfolglose und frustrierende Arbeit an dem unlösbar scheinenden

Problem zu unterbrechen. Ähnliche Anekdoten werden auch für neuere wissenschaftliche Entdeckungen erzählt, z.B. für die Entschlüsselung der Kodierung genetischer Information. Als Watson nach der Entschlüsselung der Doppelhelixstruktur der DNS gefragt wurde, erwiderte er, dass er beim Spielen mit Modellbausteinen, die die schon vorher bekannten Basensequenzen der DNS repräsentierten, zur plötzlichen Einsicht gelangte, dass diese einer Wendeltreppe gleich angeordnet werden müssten.

Schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gab es Versuche, aus solchen subjektiven Berichten Modelle des einsichtigen Problemlösens zu entwickeln. Zur größten Bekanntheit brachte es das Vier-Phasen-Modell von Wallas (1926), weil es sich auch als hilfreich für die neuere Forschung zur Einsicht erwies. Wallas zufolge wird in der ersten Phase, der *Vorbereitungsphase*, das Problem formuliert. Dabei scheitern zunächst mehr oder weniger umfangreiche Lösungsversuche innerhalb der ursprünglichen Formulierung. Gegen Ende dieser Phase verfestigt sich das Gefühl, dass das Problem nicht lösbar ist. Nun folgt die *Inkubationsphase*. Das Problem wird zur Seite gelegt, d.h. es wird nicht weiter aktiv nach einer Lösung gesucht. In der dritten Phase, der *Illuminationsphase*, kommt es zu einer plötzlichen Einsicht. Die Einsicht besteht darin, dass die Lösung oder ein kritischer Aspekt der Lösung vollkommen unerwartet im Bewusstsein des Problemlösers erscheint. In der letzten Phase, der *Verifikationsphase*, werden die Implikationen der neu gewonnenen Einsicht ausgearbeitet. Dabei wird auch überprüft, ob die Lösung tatsächlich realisierbar ist.

Ungefähr zur selben Zeit, zu der Wallas (1926) sein Vier-Phasen-Modell formulierte, begannen die Gestaltpsychologen in Beobachtungsstudien und Laborexperimenten systematisch Einsicht und Umstrukturierung zu untersuchen. Seither ist die Einsichtsthematik fester Bestandteil psychologischen Wissens, das vielen Generationen von Psychologen vermittelt wurde. Später griffen Kognitionspsychologen die gestaltpsychologischen Konstrukte auf und versuchten die Prozesse, die

Einsichtsphänomenen zugrunde liegen, genauer zu spezifizieren. Dementsprechend ist dieser Beitrag in zwei große Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt ausführlich die Arbeiten der Gestaltpsychologen, die für die gegenwärtige Einsichtsforschung immer noch einen zentralen Bezugspunkt darstellen. Der zweite Abschnitt behandelt kognitionspsychologische Theorien und Experimente zur Einsicht. Erfreulicherweise wurden gerade hier in neuerer Zeit einige Durchbrüche erzielt, die viel dazu beigetragen haben, das rätselhafte Phänomen Einsicht zu entschlüsseln. Zunächst wollen wir jedoch zur anfänglichen Orientierung einige Möglichkeiten aufzeigen, wie Einsicht beim Problemlösen definiert werden kann.

1. Definition von Einsicht

Eine eindeutige Definition des Begriffes „Einsicht“ im Kontext des Problemlösens hat sich als äußerst schwierig erwiesen und sorgte immer wieder für Debatten (z.B. Metcalfe vs. Weisberg; siehe Abschnitt 3). Grund dafür ist, dass der Begriff in der Problemlöseforschung sehr unterschiedlich gebraucht wird und nur schwer zu objektivieren ist. Trotzdem lassen sich drei Dimensionen unterscheiden, die zur Definition von Einsicht beim Problemlösen beitragen können: Die *phänomenale Dimension*, die *Aufgabendimension* und die *Prozessdimension*.

Auf einer *phänomenalen Dimension* kann Einsicht als das plötzliche, unerwartete und überraschende Erscheinen einer Lösungsidee im bewussten Erleben des Problemlösers charakterisiert werden. Das Erscheinen der Idee ist von einem Aha-Erlebnis (Bühler, 1907) und positiven Emotionen (Gick & Lockhart, 1995) begleitet. Das subjektive Erleben eines Aha-Erlebnisses steht im starken Gegensatz zum systematischen, schrittweisen und mühevollen Fortschreiten, durch das Problemlösen oft charakterisiert wird (Metcalf, 1986a, 1986b; Metcalfe & Wiebe, 1987). Ein weiterer, bisher wenig beachteter, phänomenaler Aspekt von Einsicht ist das Gefühl, die Lösung nicht willentlich herbeigeführt zu haben (Wegner, 2002, S. 81-82):

„The happiest inconsistency between intention and action occurs when a great idea pops into mind. The "action" in this case is the occurrence of the idea, and our tendency to say "Eureka!" or "Aha!" is our usual acknowledgement that this particular insight was not something we were planning in advance. Although most of us are quite willing to take credit for our good ideas, it is still true that we do not experience them as voluntary.”

Wegners Beschreibung verdeutlicht sehr gut, was man das Paradox der Einsicht nennen könnte. Während bewusst gesteuerte, willentliche und anstrengende Versuche, ein Problem zu lösen, scheitern, bringt eine plötzliche, unbewusst generierte und „ungewollte“ Idee ganz unerwartet die Lösung.

Abgesehen vom phänomenalen Erleben lässt sich Einsicht auch anhand von Problemaspekten, also auf einer *Aufgabendimension* charakterisieren (vgl. z.B. die Taxonomie von Weisberg, 1995). Demzufolge erfordert die Lösung einer Klasse von Problemen plötzliche Lösungsideen, während andere Probleme eher schrittweise gelöst werden. Entsprechend wird in der Literatur oft zwischen Einsichts- und Nicht-Einsichts-Problemen unterschieden (Chronicle, MacGregor & Ormerod, 2004; Davidson, 1995, 2003; Weisberg, 1992, 1995; Weisberg & Alba, 1981). Allerdings ist es bisher selten gelungen, eindeutige und allgemeingültige Kriterien für diese Unterscheidung anzugeben. Ein sinnvolles Kriterium ist das Verhältnis von Problemschwierigkeit und der Anzahl von Lösungsmöglichkeiten. Einsichtsprobleme sind oft sehr schwer zu lösen, obwohl nur eine sehr kleine Zahl von Zügen überhaupt denkbar ist. Bei konventionellen Problemen, die schrittweise gelöst werden, steigt dagegen die Problemschwierigkeit mit der Anzahl der möglichen Züge.

Die meisten anderen Kriterien rekurren dagegen in der einen oder anderen Form wieder auf das phänomenale Erleben und führen dadurch zu einer zirkulären Definition von Einsicht und Einsichtsproblem: Einsichtsprobleme sind Probleme, die Einsicht erfordern und Einsicht tritt beim Lösen von Einsichtsproblemen auf (Dominowski & Dallob, 1995; Knoblich & Wartenberg, 1998).

In neuerer Zeit wird die Definition von Einsicht stärker an Modelle angekoppelt, die annehmen, dass an der Lösung von Einsichtsproblemen andere kognitive Prozesse beteiligt sind als an der Lösung von konventionellen Problemen. Die Definition von Einsicht erfolgt hier über eine *Prozessdimension*. Am weitesten verbreitet ist im Moment die Annahme, dass Einsichten durch kognitive Prozesse zustande kommen, die zu Veränderungen in der Problemrepräsentation führen (Kaplan & Simon, 1990; Knoblich, Ohlsson, Haider et al., 1999; Ohlsson, 1992; Sternberg & Davidson, 1995). Demzufolge werden Einsichtsprobleme mit hoher Wahrscheinlichkeit zunächst in einer

Weise enkodiert, die keine Lösung des Problems zulässt. Wenn dies der Fall ist, schlagen alle anfänglichen Lösungsversuche fehl und der Problemlöser landet in einer Sackgasse, in der die Lösung des Problems unmöglich scheint. Damit die Sackgasse verlassen werden kann, muss die Problemrepräsentation verändert werden. Dies kann durch unterschiedliche (oft unbewusste) Prozesse geschehen. Eine veränderte Repräsentation des Problems eröffnet neue Möglichkeiten der Lösung, die manchmal zum Erfolg führen. Einsicht besteht demzufolge in einer Veränderung der Problemrepräsentation durch unbewusste Prozesse, die neue Wege der Lösung eröffnet.

An dieser Stelle sei noch ein Hinweis zum Verhältnis von Kreativität und Einsicht angefügt. Vor allem in der angelsächsischen Literatur wurden und werden die Begriffe „creative problem solving“ und „insight problem solving“ oft synonym verwendet (Csikszentmihaly & Sawyer, 1995; Finke, 1995; Sternberg, 1999; Sternberg & Lubart, 1995). Unserer Meinung nach ist es sinnvoller, eine deutliche Abgrenzung zwischen Kreativität und Einsicht vorzunehmen. Unter Einsicht wollen wir ganz allgemein das Phänomen plötzlicher Lösungsideen beim Problemlösen verstehen und dabei von interindividuellen Differenzen absehen. Einsichten haben demnach nicht nur Genies, sondern alle Menschen und wahrscheinlich auch einige Tiere (Köhler, 1921). Unter Kreativität wollen wir dagegen ein Persönlichkeitsmerkmal verstehen, das die Fähigkeit von Menschen beschreibt, neue und überraschende Lösungen zu generieren. Dieser differentielle Aspekt des Problemlösens wird in einem anderen Abschnitt behandelt (Hany, in diesem Band).

2. Einsicht und Umstrukturierung in der Gestaltpsychologie

Einsicht und Umstrukturierung waren die zentralen Konzepte der gestaltpsychologischen Denkforschung (vgl. Duncker, 1935; Köhler, 1921; Wertheimer, 1959) und stellten einen Versuch dar, einige zunächst für die Wahrnehmungspsychologie definierte Erklärungsprinzipien auf das Problemlösen anzuwenden. Die Gestaltpsychologen waren außerdem die ersten, die systematische empirische Beobachtungen und Experimente zur Untersuchung von Denkprozessen durchführten, die vorhergehenden Studien mit introspektiven Methoden (z.B. Bühler, 1907) deutlich überlegen waren. Insbesondere die von Duncker (1935) erstmals systematisch angewandete „Methode des Lauten Denkens“, siehe auch den Beitrag von Funke & Spring, in diesem Band, stellte eine wichtige methodische Neuerung dar, die auch die kognitive Problemlöseforschung nachhaltig beeinflusste (Deffner, 1989; Ericsson & Simon, 1984) und trotz Kritik (vgl. Knoblich & Rhenius, 1995; Nisbett & Wilson, 1977) immer noch zum Standardrepertoire der Problemlöseforschung zählt (z.B. Ericsson & Simon, 1993).

2.1 Wolfgang Köhler: Einsicht bei Schimpansen

Die erste Publikation der Gestaltpsychologen, in der das Konzept der Einsicht einen zentralen Stellenwert einnimmt, ist Wolfgang Köhlers Monographie „Intelligenzprüfungen an Menschenaffen“ (1921/1963). In diesem Klassiker der psychologischen Literatur beschreibt Köhler eine Reihe von Beobachtungsstudien an Schimpansen, die er zwischen 1914 und 1917 an der „Anthropoidenstation auf Teneriffa“ durchführte (vgl. auch Köhler, 1921). Für diese Untersuchungen formulierte er zwei Ziele (Köhler 1921/1963, S. 1):

„[...] der Verwandtschaftsgrad von Mensch und Anthropeide soll auf einem Gebiet festgestellt werden, das uns besonders wichtig erscheint, auf dem wir aber den Anthropoiden noch wenig kennen [...] Das zweite Ziel ist theoretischer Art. [...] So kann man hoffen, in den etwaigen Intelligenzleistungen von Anthropoiden Vorgänge wieder

plastisch zu sehen, die für uns zu geläufig geworden sind, als daß wir noch unmittelbar ihre ursprüngliche Form erkennen könnten [...]"

In der zweiten Formulierung wird Köhlers Anspruch deutlich, dass die Untersuchung von Menschenaffen wichtige Aufschlüsse über menschliches Verhalten geben kann. Das Konzept der Einsicht taucht zum ersten Mal auf, als Köhler intelligentes Verhalten von anderen Verhaltenstypen abgrenzt. Einsichtiges Verhalten und intelligentes Verhalten waren für Köhler synonym. Er verwendete den Begriff Einsicht also in einem sehr allgemeinen Sinn. Entsprechend formulierte er die zentrale Frage seiner Untersuchungen: Zeigen Menschenaffen Verhalten, das „uns als einsichtig im Gegensatz zu sonstigem Verhalten, besonders von Tieren, vorschwebt?“ (Köhler 1921/1963, S. 2). Diese Frage macht natürlich nur Sinn, wenn Kriterien gefunden werden, die einsichtiges und „sonstiges“ Verhalten voneinander abgrenzen. Köhler (1921/1963, S. 3) schlägt folgendes vor:

„Die Erfahrung zeigt, dass wir von einsichtigem Verhalten dann noch nicht zu sprechen geneigt sind, wenn Mensch oder Tier ein Ziel auf direktem, ihrer Organisation nach gar nicht fraglichem Wege erreichen; wohl aber pflegt der Eindruck von Einsicht zu entstehen, wenn die Umstände einen solchen, uns selbstverständlich erscheinenden Weg versperren, dagegen indirekte Verfahren möglich lassen, und nun Mensch oder Tier diesen der Situation entsprechenden ‚Umweg‘ einschlagen.“

Intelligentes Verhalten wird also durch die Fähigkeit charakterisiert, in ungewohnten Situationen neue Lösungen zu finden, die Umwege erfordern. Es ist auffallend, dass die moderne Denkpsychologie mit Formulierungen, die Köhlers „Umwegen“ sehr ähnlich sind, Problemlösen definiert. Demzufolge liegt ein Problem dann vor, wenn Problemlöser Barrieren oder Hindernisse überwinden müssen, um eine unbefriedigende Situation in die gewünschte Situation (das Ziel) zu überführen (vgl. z.B. Dörner, 1976; Mayer, 1992). Aus dieser Perspektive betrachtet, machte Köhler intelligentes oder einsichtiges Verhalten fast ausschließlich an der Fähigkeit fest, Probleme zu lösen. Nach heutiger Auffassung ist diese Fähigkeit nur eine Teilkomponente von Intelligenz (siehe Roth, 1998). Insofern würde man viele seiner „Intelligenzprüfungen an Menschenaffen“ inzwischen wohl eher als „Studien zum Problemlösen bei Menschenaffen“ bezeichnen. Köhlers Formulierung

scheint auch zu implizieren, dass Problemlösen ausschließlich durch Einsicht zustande kommt. Dies verdeutlicht noch einmal, dass Köhler den Begriff Einsicht in einem viel allgemeineren Sinne verwendete als etwa die moderne kognitionspsychologische Forschung (vgl. Abschnitt 3).

Köhlers Auffassung, dass einsichtiges Verhalten die Fähigkeit voraussetzt, in ungewohnten Situationen durch Umwege zum Ziel zu gelangen, spiegelt sich direkt in seiner empirischen Untersuchungslogik wieder. In den meisten Studien brachte er Schimpansen in Situationen, in denen sie leckeres Futter (meistens Bananen) nicht direkt greifen konnten, sondern Werkzeuge einsetzen oder konstruieren mussten, um in den Besitz des Futters zu gelangen. Dabei stellte er sukzessive Situationen her, in denen die Tiere immer größere „Umwege“ beschreiten mussten, um an das Futter heranzukommen. Da Köhlers theoretische Schlussfolgerungen über Einsicht sehr stark auf einzelnen Beobachtungsstudien beruhten, die in der Literatur oft verkürzt dargestellt werden, werden wir zunächst jeweils zwei Beobachtungsstudien zur Werkzeugbenutzung und zur Werkzeugkonstruktion im Rückgriff auf die Originalquelle relativ ausführlich darstellen (Köhlers „Beobachtungsprosa“ ist zudem ein Genuss, der dem Leser nicht vorenthalten bleiben soll). Danach werden wir auf Köhlers Abgrenzung einsichtigen Verhaltens von zufälligem Verhalten eingehen, durch die er sich heftig von Thorndikes (1911) Position abgrenzte. Thorndike postulierte, dass die beiden Konzepte Lernen durch Versuch und Irrtum (trial and error) und Verstärkung erfolgreicher Verhaltensweisen (law of effect) ausreichend sind, um das gesamte Verhaltensrepertoire von Menschen und Tieren zu erklären.

2.1.1 Werkzeuggebrauch

In einer ersten Studie mit der Schimpansin Nueva wurde eine Banane (das Ziel) zu weit außerhalb des Käfigs platziert, um direkt gegriffen werden zu können. Köhler (1921/1963, S. 22-23) schreibt:

„Das Ziel ist in keiner Weise mit dem Raume des Tieres verbunden; die Situation enthält als einziges Hilfsmittel einen Stab, mit dem das Ziel herangezogen werden könnte [...] Nueva wurde 3 Tage nach ihrer Ankunft geprüft (11.3.14). Sie war noch nicht mit anderen Tieren zusammengekommen, sondern saß isoliert in einem Käfig. Ein Stöckchen wird ihr in den Käfig gegeben, sie kratzt mit ihm ein wenig auf dem Boden, schiebt so Bananenschalen auf einen Haufen und lässt dann den Stock achtlos fallen, vielleicht 3/4 m vom Gitter entfernt. 10 Minuten später werden Früchte draußen außer Reichweite auf den Boden gelegt; das Tier greift vergeblich danach und beginnt alsbald zu klagen in der charakteristischen Art des Schimpansen [...] So vergeht zwischen Bitten und Klagen eine Weile, bis – etwa 7 Minuten nach dem Niederlegen des Zieles – das Tier bei einem Blick in Richtung des Stockes verstummt, diesen ergreift, hinausführt und etwas ungeschickt, aber doch erfolgreich, mit ihm das Ziel heranzieht.“

Später entfernte Köhler den Stock zunehmend vom Gitter des Käfigs (und damit vom Zielobjekt). Wenn die Entfernung zwischen Stock und Ziel zu groß wurde, dann war Nueva unfähig, den Stock zu benutzen, obwohl ihre Aufmerksamkeit auf den Stock im Hintergrund des Käfigs gelenkt wurde, und obwohl der Stock vorher wiederholt zum Heranziehen des Futters benutzt worden war. Köhler schloss aus diesen Beobachtungen, dass die räumliche Anordnung der als Werkzeug in Betracht kommenden Gegenstände im Bezug auf das Tier und das Ziel kritisch für den Werkzeuggebrauch ist, zumindest solange das Werkzeug noch nicht oft benutzt wurde. Demnach erkannte Nueva den „Funktionswert“ des Werkzeugs nur dann, wenn sich Ziel und Werkzeug gleichzeitig in ihrem Gesichtsfeld befanden und sie somit eine Relation zwischen beiden stiften konnte (Köhler spricht hier von „Zusammen-Sehen“). Dies impliziert, dass einsichtiges Verhalten die Stiftung neuer Relationen im Hinblick auf eine bessere Gesamtsituation voraussetzt, die bei Schimpansen nur dann auftrat, wenn sich alle notwendigen Elemente im Gesichtsfeld befanden.

In einer weiteren Studie überprüfte Köhler, ob Schimpansen Kisten dazu benutzen können, um eine an der Decke des Käfigs aufgehängte Banane zu erreichen. Er schreibt (Köhler, 1921/1963, S. 28-29):

„Ist das Ziel hoch angebracht [...] so kann die Distanz auch überwunden werden durch Erhöhung des Bodens, Einschalten einer Kiste oder anderer Stufen, auf die dann das Tier hinaufsteigt [...] Die sechs jungen Tiere des Stationsstammes werden in einem Raum [...] eingesperrt, dessen Decke [...] sie nicht erreichen können; eine Holzkiste [...] steht etwa in der Mitte des Raumes [...] das Ziel wird in einer Ecke [...] ans Dach genagelt. Alle Tiere bemühen sich vergeblich, das Ziel im Sprung vom Boden aus zu erreichen; Sultan gibt das jedoch bald auf, geht unruhig im Raum umher, bleibt plötzlich vor der Kiste stehen, ergreift sie, kantet sie hastig in gerader Linie auf das Ziel zu, steigt aber schon hinauf, als sie noch etwa 1/2 m (horizontal) entfernt ist, und reißt, sofort mit aller Kraft springend, das Ziel herunter.“

Noch mehr als in der vorhergehenden Beschreibung der Stockbenutzung Nuevas wird hier die Plötzlichkeit von Sultans Einsicht betont. Mit der Zeit lernte die ganze Affengruppe, nicht nur Kisten, sondern auch zufällig gefundene Blechtrommeln oder Drahtrollen in der Funktion eines Schemels zu verwenden. Eines Tages entdeckte Sultan sogar, dass der Wärter als „Sprungbrett“ benutzt werden konnte, um an das Futter heranzukommen (Köhler, 1921/1963; S. 35). Bei weiteren systematischen Beobachtungen stellte sich heraus, dass Sultan die Kiste auch dann verwendete, wenn sie in maximaler Entfernung zur an der Decke aufgehängten Banane platziert wurde. Anders als Nueva schien Sultan den Funktionswert des Werkzeugs also auch dann zu erkennen, wenn Ziel und Kiste nicht gleichzeitig in seinem Blickfeld waren. Allerdings hatte er große Schwierigkeiten, wenn die Kiste nicht mehr im gleichen Raum platziert wurde, sondern hinter einer Ecke im Korridor. Letztlich konnte er aber auch diese Aufgabe meistern.

Für Köhler zeigen die Ergebnisse zum Werkzeuggebrauch, dass die Lösung nicht durch einzelne „Verhaltensbruchstücke“, die zufällig miteinander kombiniert werden, zustande kommt. Wenn Umwege eingeschlagen werden müssen, machen Verhaltenselemente, die am Anfang einer Lösungssequenz auftreten, nur im Hinblick auf den „Gesamtverlauf der Lösung“ oder „das Ganze der Aufgabe“ Sinn (Köhler, 1921/1963, S. 71). Isoliert betrachtet ist die Bewegung, die zum Ergreifen einer Kiste oder eines Stockes führt, vollkommen irrelevant für die Aufgabe, eine Banane zu verspeisen.

„In dem Gesamtverlauf belassen, trägt sie dagegen den Sinn eines sachlich notwendigen Teiles in einem sinngemäßen Ganzen“ (Köhler, 1921/1963, S. 72).

2.1.2 Werkzeugherstellung

Köhlers Ausführungen zufolge lassen sich mit Studien zur „Werkzeugherstellung“ Situationen herstellen, in denen noch deutlicher zu Tage tritt, dass Verhaltensweisen, die isoliert genommen sinnlos sind, trotzdem auftreten, wenn sie Sinn im Hinblick auf die Gesamtlösung machen. Werkzeugherstellung definiert er als „jede Nebenaktion, die ein zunächst in die Situation nicht glatt eingehendes Werkzeug ‚vorbehandelt‘, so daß es verwendbar wird“ (Köhler, 1921/1963, S.72). Sehr bekannt geworden ist folgende Studie über die Kombination zweier Stöcke (Köhler, 1921/1963, S. 90-91, siehe Abb. 1):

„Geprüft wird Sultan (20.4.). Ihm stehen als Stäbe zwei hohle, aber feste Schilfrohre zur Verfügung [...] Das hat einen so viel kleineren Querschnitt als das andere, daß es sich in dessen beide Öffnungen leicht einschieben läßt. Jenseits eines Gitters liegt das Ziel so weit entfernt, daß das Tier mit den einzelnen Rohren nicht ankommen kann. – Trotzdem gibt es sich zunächst große Mühe [...]. Als alles umsonst ist, begeht Sultan einen "schlechten Fehler" oder, deutlicher gesagt, eine kräftige Dummheit [...]: Er zerrt aus dem Hintergrunde des Raumes eine Kiste ans Gitter; von dort schiebt er sie allerdings gleich wieder zurück, da sie nichts nützt oder vielmehr im Wege steht. Gleich danach setzt er ein [...] unter die "guten Fehler" zu rechnendes Verfahren ein: Er führt das eine Rohr so weit wie möglich hinaus, nimmt darauf das andere und schiebt mit ihm das erste vorsichtig auf das Ziel zu, indem er es, am hinteren Ende langsam stoßend und drängend, sorgfältig in der Richtung auf die Früchte zu hält. [...] Der Versuch hat über eine Stunde gedauert und wird, als in dieser Form aussichtslos, vorläufig abgebrochen. [...] Für alle Fälle wird der Wärter als Wachtposten aufgestellt.“ (Köhler, 1921/1963, S. 91).

Einige Momente nachdem Köhler den Ort des Geschehens verlassen hat, kommt Sultan doch noch zur erhofften Einsicht: „Bericht des Wärters: Sultan hockt zunächst gleichgültig auf der Kiste, die etwas rückwärts vom Gitter stehen geblieben ist; dann erhebt er sich, nimmt die beiden Rohre auf, setzt sich wieder auf die Kiste und spielt mit den Rohren achtlos herum. Dabei kommt es zufällig dazu, dass er vor sich in jeder Hand ein Rohr hält, und zwar so, dass sie in einer Linie liegen; er steckt das dünnere ein wenig in die Öffnung des dickeren, springt auch schon auf ans Gitter, dem er bisher halb den Rücken zugekehrte, und beginnt eine Banane mit dem Doppelrohr heranzuziehen.“



Abbildung 1: Sultans Einsicht zur Kombination von Stöcken.

Bei weiteren Beobachtungen stellt sich heraus, dass Sultan die einzelnen Stöcke immer wieder zu einem längeren kombinieren kann. Köhler betont, dass Sultan niemals versucht, die beiden breiten Enden der Stöcke zusammenzusetzen, die Kombination der Stöcke also nicht zufällig erfolgt. In einer Situation, in der drei Stöcke zusammengesetzt werden müssen, hat Sultan eine weitere plötzliche Einsicht, die ihm die Lösung der Aufgabe erlaubt. Die obige Beschreibung verdeutlicht auch eine normativ anmutende Unterscheidung zwischen „guten“ und „schlechten“ Fehlern, die später auch bei Wertheimer (1959) eine zentrale Stellung einnimmt. Als schlechte Fehler werden Verhaltenselemente bezeichnet, die das Ganze der Aufgabe außer Acht lassen. Sultans Versuch, die Kiste zu benutzen, um an das außerhalb des Käfig liegende Futter heranzukommen, ist nur durch frühere Erfolge mit der Kistenbenutzung zu erklären, den Anforderungen der aktuellen Aufgabe gegenüber aber „blind“. Als gute Fehler werden Verhaltenselemente bezeichnet, die zwar nicht zum Erfolg führen, aber trotzdem auf das Einbeziehen des Ganzen der Aufgabe hindeuten. Das Schieben des einen Rohres mit dem anderen Rohr im obigen Beispiel deutet darauf hin, dass Sultan verstand, dass ein

längeres Werkzeug benötigt wurde, um an das Futter heran zu kommen. Somit können gute Fehler Hinweise darauf geben, inwiefern schon eine teilweise Einsicht in die Gesamtstruktur der Aufgabe erfolgte, auch wenn die Lösung (noch) nicht gefunden wurde.

In seiner vielleicht berühmtesten Studie untersuchte Köhler, ob Menschenaffen dazu fähig sind, mehrere Kisten zu stapeln, um eine hoch im Raum aufgehängte Banane zu erreichen.

Wiederum hat Sultan als erster die zündende Einsicht (Köhler, 1921/1963, S. 96f):

„das Ziel ist sehr hoch angebracht, die beiden Kisten stehen nicht weit auseinander und etwa 4 m von dem Ziel entfernt [...] Sultan schleppt die größere der Kisten zum Ziel, setzt sie flach darunter, stellt sich, hinaufsehend, auf sie, macht Anstalten zum Sprung, springt aber nicht wirklich; steigt herab, ergreift die andere Kiste und galoppiert, sie hinter sich herziehend, im Raum umher, wobei er den üblichen Lärm macht, gegen die Wände trampelt und sein Unbehagen auf jede mögliche Weise zu erkennen gibt. Sicherlich hat er die zweite Kiste nicht ergriffen, um sie auf die erste zu setzen; sie muss ihm nur helfen, seine Laune zu äußern. Mit einem Male aber ändert sich sein Verhalten vollständig; er lässt den Lärm, zieht seine Kiste von weit her geradeswegs an die andere heran und stellt sie sofort steil auf diese; dann steigt er auf den etwas schwankenden Bau, setzt mehrmals zum Sprung an, springt aber wieder nicht: das Ziel ist für den schlechten Springer immer noch zu hoch. Übrigens hat er geleistet, worauf es ankam.“

In späteren Experimenten lernen zwei weitere Tiere, Chica und Grande das Kistenstapeln.

Mit der Zeit entwickelte vor allem Grande erstaunliche architektonische Fähigkeiten und stapelte bis zu vier Kisten aufeinander (Köhler 1921/1963, S. 99, siehe Abb. 2).



Abbildung 2: Die „Stararchitektin“ Grande beim Aufschichten von Kisten.

Köhlers Studien haben es zu großer Berühmtheit gebracht und werden in vielen Lehrbüchern benutzt, um Einsicht zu illustrieren. Allerdings vermitteln die notwendigerweise verkürzten Darstellungen im Vergleich zu Köhlers Original oft einen Eindruck, der zur Überschätzung der von den Schimpansen erbrachten Einsichten führt. Köhler beschreibt immer wieder Situationen, in denen die Affen schon erzielte Einsichten vergessen oder „Dummheiten“ begehen. Einzelne Affen (insbesondere Rana) werden ganz allgemein als „dumm und eifrig“ charakterisiert, weil sie das gewünschte einsichtige Verhalten nicht zeigen. Für andere Affen werden zwar intelligente Fähigkeiten

angenommen, bis hin zur Bildung selbständiger Zwischenziele (Köhler, 1921/1963, S. 124ff); allerdings wird kein Hehl daraus gemacht, dass auch diese Affen immer wieder „dumme“ Fehler begehen (insbesondere Sultan). Wichtig ist auch der Umstand, dass komplexere Verhaltensweisen (Stöcke zusammenstecken, Kisten stapeln) erst auftraten, wenn einfachere Verhaltensweisen (einfache Stockbenutzung, Benutzung einer Kiste) schon gut geübt waren. Nichtsdestotrotz kommt Köhler am Ende der Monographie zu folgendem Schluss (Köhler, 1921/1963, S. 191):

„Die Schimpansen zeigen einsichtiges Verhalten von der Art des beim Menschen bekannten. Nicht immer ist, was sie Einsichtiges vornehmen, äußerlich Menschenhandlungen ähnlich, aber unter geeignet gewählten Prüfungsumständen ist der Typus einsichtigen Gebarens mit Sicherheit nachzuweisen.“

Die Suche nach „geeigneten Prüfungsumständen“ stellt auch heute noch eine der größten Herausforderungen für die Einsichtforschung dar (siehe Abschnitt 3).

2.1.3 Abgrenzung einsichtigen Verhaltens von Lernen durch Versuch und Irrtum

Köhler formulierte in den „Intelligenzprüfungen am Menschenaffen“ explizit, dass er nicht den Anspruch hegte, eine Theorie einsichtigen Verhaltens vorzulegen (Köhler, 1921/1963, S. 134). Allerdings war ihm sehr daran gelegen, Erklärungen für seine Beobachtungen an Menschenaffen auszuschließen, wonach die Affen die Lösung der Probleme durch Versuch und Irrtum zufällig entdeckten. Er wandte sich dabei insbesondere gegen die Postulate in Thorndikes 1911 publizierter Monographie „Animal Intelligence.“ Thorndike hatte Versuch und Irrtum (trial and error) und die bevorzugte Ausführung zuvor erfolgreichen Verhaltens (law of effect) als die beiden fundamentalen Prinzipien des Lernens definiert. Mit diesen Annahmen erklärte Thorndike die Ergebnisse seiner berühmten Experimente mit Katzen. Die Katzen wurden in einen Käfig eingeschlossen, der durch einen Hebel geöffnet werden konnte. Thorndike zufolge probierten sie zunächst blind alle möglichen Verhaltensweisen aus, die ihnen natürlicherweise zur Verfügung stehen. Dabei traten sie manchmal zufällig auf den Hebel,

der die Käfigtür öffnete. Wenn sie wiederholt in den Käfig eingeschlossen wurden, konnten sie die Käfigtür immer schneller öffnen. Allerdings waren sie darin keineswegs perfekt. Sie probierten immer wieder alle möglichen Verhaltensweisen aus und lernten das richtige Verhalten nur graduell.

Köhler wendete sich strikt gegen das Prinzip von Versuch und Irrtum als Erklärung für die von ihm gemachten Beobachtungen an Menschenaffen. Insbesondere hob er hervor, dass beim Lernen durch Versuch und Irrtum Einzelaspekte der Situation nicht in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht werden. Köhler bestritt gar nicht, dass manchmal zufällige Verhaltenssequenzen auch bei den Schimpansen auftraten. Allerdings betonte er, dass einsichtige Lösungen vollkommen anders aussahen (Köhler, 1921/1963, S. 136ff). Diese seien gekennzeichnet durch ein plötzliches Einsetzen und einen in sich geschlossenen Verlauf, was darauf hindeute, dass die Gesamtlösung ein Produkt „optischer Übersicht über den gesamten Situationsaufbau“ darstelle und „in Rücksicht auf die Feldstruktur“ entstehe.

Zur Unterstützung dieses Arguments führte er verschiedene Aspekte seiner Beobachtungen an: Demnach hätten die Schimpansen in den Versuchssituationen kaum zufällige Bewegungen ausgeführt, vielmehr richteten sich die Verhaltensweisen immer auf das Ziel hin. Die Lösung selbst hätte niemals den Eindruck eines „Durcheinanders blinder Impulse“ gemacht. Vielmehr hätte sie eine geschlossene Handlung dargestellt, die oft auf eine Spanne der Ratlosigkeit oder Ruhe folgte. Bei komplexen Versuchsanordnungen (z.B. mehrere Kisten) wären zwar häufiger unterschiedliche Verhaltensweisen ausprobiert worden, allerdings seien auch diese nicht vollkommen zufällig aufgetreten, sondern hätten Lösungsversuche für eine „halb verstandene Situation“ dargestellt. Nicht einmal „grobe Gewöhnungstorheiten“, etwa Sultans Versuch der Verwendung einer Kiste zum Erreichen von Futter außerhalb des Käfigs, ließen sich als Versuch- und Irrtum-Verhalten erklären. Sie stellten nicht primäre

Verhaltensbruchstücke, sondern Nachwirkungen früherer echter Lösungen dar (also z.B. von Sultans Einsicht, dass die Kiste benutzt werden kann, um ein hoch aufgehängtes Ziel zu erreichen). Weiterhin spreche gegen das Lernen durch Versuch und Irrtum, dass die Schimpansen zu wenige Versuche gebraucht hätten, um komplexe Verhaltensweisen auszuformen. So hätte sich der Gebrauch einer Kiste zum Erreichen hoch aufgehängten Futters nach und nach ausformen müssen (z.B. hätte die Kiste an verschiedenen Orten des Raumes platziert werden müssen) und nicht wie bei Sultans Einsicht, sofort in der richtigen Weise auftreten dürfen.

Köhler argumentierte auch gegen Erklärungen für seine Beobachtungen, die dem Gesetz der Wirkung (law of effect) folgend postulierten, dass die Tiere schon früher ähnliche, wie die in den Versuchen geforderten Verhaltensweisen erfolgreich angewandt hätten, und diese deswegen in den gestellten Aufgaben relativ glatt reproduzieren konnten. Die Vorgeschichte der Tiere auf der Station sei weitgehend bekannt gewesen. Die Fähigkeiten keines der Tiere sei über einfachen Stockgebrauch hinausgegangen (dieser wurde nur an Sultan und Rana beobachtet, die nicht an der einfachen Stockstudie teilnahmen). Noch unwahrscheinlicher sei die Erklärung für die Studien zum Gebrauch von Kisten als Schemel (Köhler 1921/1963, S. 154):

„Wie oft konnte ein Schimpanse unter seinen normalen Lebensbedingungen überhaupt in die Lage kommen, z.B. für ein hoch hängendes Ziel, also vermutlich eine Baumfrucht, eines Schemels zu bedürfen?“

Es sei also ziemlich abwegig anzunehmen, dass sich die Tiere „früher solche Lösungen zufällig adressiert haben.“

Obwohl Köhler das Prinzip von Lernen durch Versuch und Irrtum und das Gesetz der Wirkung aufs heftigste kritisierte, schloss er nicht prinzipiell aus, dass eine Erklärung einsichtigen Verhaltens durch die allgemeine Assoziationstheorie möglich sei. Allerdings müsste dafür aus dem Assoziationsprinzip abgeleitet werden, „was das Erfassen eines sachlichen, inneren Bezugs zweier Dinge zueinander ist (allgemeiner das Erfassen des

Situationsaufbaus)“ (Köhler, 1921/1963, S. 159). Am Ende seiner Behandlung von Alternativerklärungen ging Köhler noch kurz auf das Lernen durch Nachahmung des Menschen ein. Obwohl er durchaus davon ausging, dass die Schimpansen fähig waren, Menschen nachzuahmen, war er davon überzeugt, dass das in seinen Studien beobachtete Verhalten nicht auf diese Weise zustande kam. Als prinzipielles Argument gegen diese Erklärung führt er an, dass Imitation immer schon ein Verstehen der Handlungen des Anderen voraussetze. Das wichtigste praktische Argument war, dass „kein Mensch je auf den Lösungsversuch der Tiere verfallen würde [...] Wer soll ihnen vorgemacht haben [...] zwei Stöcke in rein optischer Lösung zu einem verlängerten zusammenzuhalten usw.?“ (Köhler, 1921/1963, S. 162f)

Als Abschluss dieses Abschnitts bietet sich eine Spitze Köhlers gegenüber Thorndike aus der Einleitung zu den „Intelligenzprüfungen“ an, die noch mal die tiefe Kluft zweier Weltansichten illustriert: Thorndike (1911) sagt über seine Versuchstiere (Köhler 1921/1963, S. 2): „Nichts an ihrem Verhalten erschien jemals einsichtig.“ Köhler kommentiert:

„Wer seine Ergebnisse so formuliert, dem muss anderes Verhalten schon als einsichtig erschienen sein, der kennt jenen Gegensatz in der Beobachtung, etwa vom Menschen her, wenschon er ihn in der Theorie nachher zurücktreten läßt.“

2.2 Norman R. F. Maier: Gerichtetheit und Bewusstheit

Der Amerikaner Norman R. F. Maier führte zwei wichtige Serien von Experimenten durch, in denen er gestaltpsychologische Annahmen zu Denkprozessen und insbesondere zum Problemlösen empirisch überprüfte. Im Vergleich zu anderen gestaltpsychologischen Arbeiten zeichnen sich Maiers Studien durch eine vergleichsweise hohe methodische Sorgfalt aus. In einer ersten Studie verwendete er ein praktisches Konstruktionsproblem, um die unterschiedlichen Annahmen der Behavioristen und der Gestaltpsychologen zur Rolle der Erfahrung beim Problemlösen zu überprüfen (Maier, 1930). In einer zweiten

Studie verwendete er das bekannte Zwei-Seile Problem, um zu untersuchen, inwiefern Lösungen als „Ganze“ im Bewusstsein erscheinen (Maier, 1931).

2.2.1 Gerichtetheit des Problemlösens

In seiner ersten Studie thematisierte Maier die Rolle des Vorwissens beim Problemlösen. Den behavioristischen Prinzipien zufolge sollten durch Versuch und Irrtum frühere Erfahrungen auf das Problem angewendet werden, bis sich die richtige Kombination zufällig ergibt. Diese Erklärung kontrastierte er mit gestaltpsychologischen Annahmen à la Köhler und Wertheimer, die zwar nicht leugnen, dass Menschen auf frühere Erfahrungen zurückgreifen können, den Kern des Problemlösens aber an einem anderen Prozess festmachen, nämlich der Umstrukturierung der Problemsituation hin zu einer neuen Gestalt (Wertheimer, 1925). Die neue Gestalt erscheint plötzlich, wie beim Kippen von Figur und Grund in Wahrnehmungsexperimenten (Koffka, 1935).

Um einen ersten Test zwischen diesen beiden Alternativannahmen durchzuführen, benutzte er folgende Logik, und führte damit eine neue experimentelle Technik, nämlich die Verwendung von Lösungshinweisen, in die Problemlöseforschung ein: Eine Kontrollgruppe löste ein Konstruktionsproblem ohne Lösungshinweise. In einer zweiten Gruppe wurden die drei zur Lösung notwendigen Einzelschritte jedem Versuchsteilnehmer vorgegeben. Den Behavioristen zufolge sollte das mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Lösung des Problems führen, weil die drei Schritte nur noch in der richtigen Weise kombiniert werden müssen, um das Problem zu lösen. In einer weiteren Gruppe gab Maier den Probanden zusätzlichen zu den drei anderen Hinweisen noch einen „Richtungshinweis“ („direction“), der darauf abzielte, das Denken in die richtigen Bahnen zu leiten, oder besser zu organisieren. Den gestaltpsychologischen Annahmen zufolge müsste dieser Hinweis der kritische Faktor sein, der zur

Umstrukturierung führt, da die Vorgabe der einzelnen, unverbundenen Teilschritte nicht der Gesamtstruktur des Problems gerecht wird.

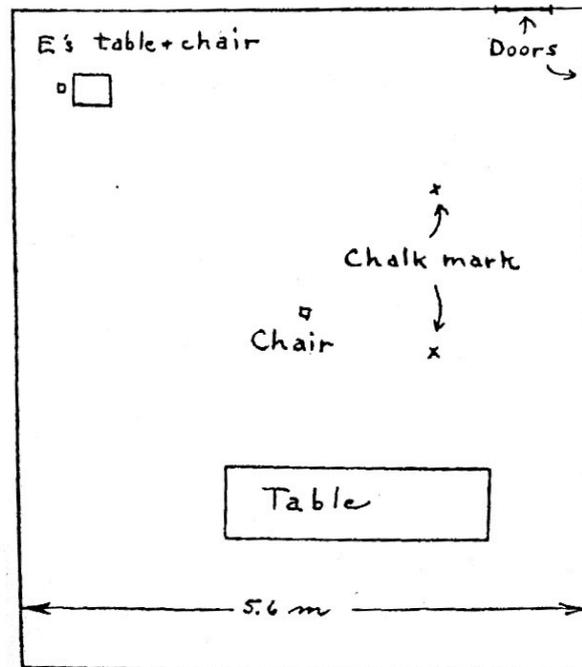


Abbildung 3: Maiers (1930) Konstruktionsproblem.

Der Versuch fand in einem etwa zwei Meter hohen Raum statt, in dem sich nur Stühle und ein Tisch befanden. Auf dem Tisch lagen insgesamt vier Stangen, zwei davon ca. 1,9 m lang und zwei davon ca. 1 m lang. Außerdem befanden sich ein Schraubenzwinger, zwei kleinere Klemmschrauben, zwei ca. 2,3 m lange Kabelstücke, mehrere Metallröhrchen unterschiedlicher Länge und einige Stücke Kreide auf dem Tisch. Weder die Stühle noch der Tisch, sondern nur die auf dem Tisch befindlichen Objekte, durften zur Lösung des folgenden Problems verwendet werden (Maier, 1930). Die Instruktion lautete: Konstruiere zwei Pendel, von denen jeweils eines über einem der beiden auf dem Boden markierten Punkte schwingt (siehe Abb. 3). Die Pendel sollten so konstruiert sein, dass ein an ihnen befestigtes Stück Kreide eine sichtbare Spur über die markierten Punkte

zieht. Die Schwierigkeit lag darin, zuerst eine Aufhängung für das Pendel zu konstruieren.

Die einzige stabile Lösung des Problems ist in Abb. 4 dargestellt. Einer der beiden langen Stäbe musste an der Decke angebracht werden, so dass sich die Enden über den beiden markierten Punkten befanden. Gestützt wurde dieser horizontale Stab durch einen langen vertikalen und einen kurzen vertikalen Stab, die mit der Schraubzwinge so verbunden wurden, dass die Distanz zwischen Boden und horizontalem Stab gerade überbrückt wurde. Die Stangen formten also eine T-Konstruktion. An die Enden der horizontalen Stange konnten nun die beiden Kabel gehängt werden. Danach mussten nur noch zwei Kreidestücke mit den beiden kleineren Klemmschrauben an den Kabeln befestigt werden.

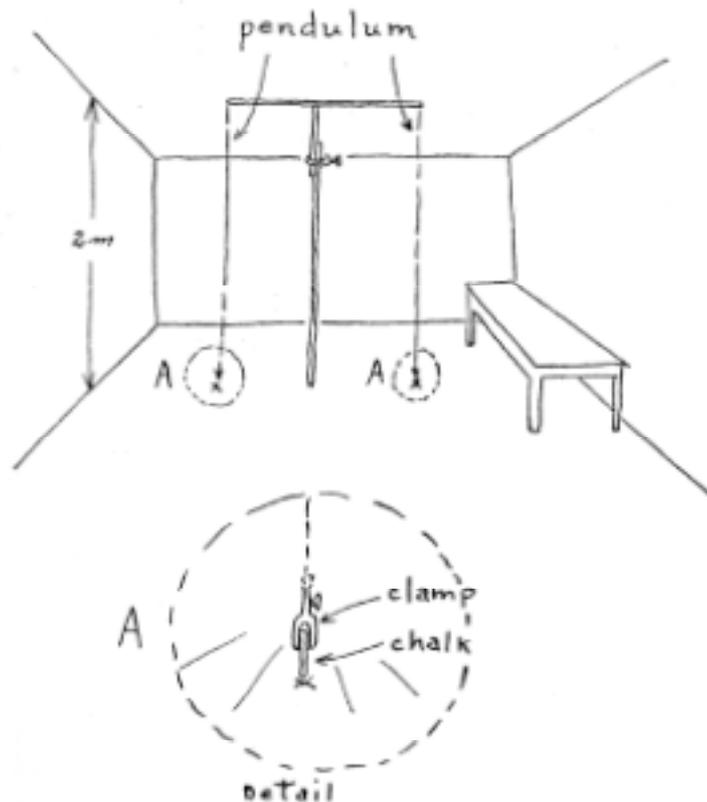


Abbildung 4: Lösung zu Maiers (1930) Konstruktionsproblem.

Maier unterschied drei Teilschritte, die zur Lösung notwendig waren:

- A) Das Montieren der Kreidestücke an die Kabel mit Hilfe von Klemmschrauben;
- B) Die Kombination zweier Stangen zu einer längeren Stange mit Hilfe einer Schraubzwinge;
- C) Das Formen der T-Konstruktion aus zwei Stäben;

In den beiden Experimentalgruppen wurde zu jedem dieser Teilschritte ein Lösungshinweis gegeben. Zu Teilschritt A wurde den Teilnehmern erklärt, wie man mit Hilfe eines Seils, einer Klemmschraube und eines Stifts, ein Senkblei herstellen kann. Zu Teilschritt B wurde erzählt, wie Köhlers Sultan zwei Stäbe zusammensteckte, um an weit außerhalb seines Käfigs platziertes Futter heranzukommen. Zu Teilschritt C wurde

demonstriert, wie man mit einer horizontalen T-Konstruktion eine Leinwand an der Wand befestigen kann. Wie schon erwähnt, erhielten die Teilnehmer in der zweiten Experimentalgruppe einen zusätzlichen Richtungshinweis:

„Bitte überlegen Sie sich, wie einfach das Problem wäre, wenn die Pendel einfach an Nägeln in der Decke aufgehängt werden könnten.“

Die Ergebnisse zeigten, dass das Problem extrem schwierig war. Einige der Versuchsteilnehmer verbrachten bis zu drei (!) Stunden damit, nach einer Lösung zu suchen. Keiner der 15 Teilnehmer in der Kontrollgruppe konnte das Problem lösen. Von 27 Teilnehmern, denen die drei Lösungshinweise A, B und C ohne Richtungshinweis vorgegeben wurden, war nur einer erfolgreich. Dagegen fanden immerhin acht von 22 Teilnehmern, die einen zusätzlichen Richtungshinweis erhielten, die Lösung. Außerdem kamen vier weitere Teilnehmer in dieser Gruppe der Lösung sehr nahe. Maier zufolge zeigen diese Ergebnisse klar, dass die unstrukturierte Vorgabe von Einzelhinweisen nicht wirksam ist, wenn ein zusätzlicher Hinweis fehlt, der die Anstrengungen in die richtigen Bahnen lenkt.

Daraus schloss er, dass die Lösung von Problemen nicht allein durch die Kombination einzelner Erfahrungselemente zustande kommen kann, sondern dass „direction“ (Richtung, Gerichtetheit) einen entscheidenden Faktor beim Problemlösen darstellt. Direction definierte er als „die Art in der ein Problem angegangen wird“ oder „die Schwierigkeit, die in dem Problem gesehen wird“ (Maier, 1930). Vorerfahrungen seien nur in dem Maße wichtig, in dem sie es dem Problemlöser ermöglichen, die in dem Problem gesehene Schwierigkeit zu überwinden. Dieses Ergebnis könne durch das Prinzip von Versuch und Irrtum nicht erklärt werden. Wären die Problemlöser nach diesem Prinzip vorgegangen, hätte auch die Vorgabe der einzelnen Hinweise ohne die Vorgabe des Richtungshinweises wirksam sein müssen. In der weiteren Diskussion grenzt Maier (1930) „direction“ auch von den von Selz (1913) postulierten determinierenden Tendenzen ab. Diese seien nur auf die Problemstellung und die

Gesamtsituation bei Aufgaben anwendbar, die reproduktives Denken erfordern. Das Konstruktionsproblem hätte dagegen produktives Denken verlangt.

Maier zufolge sprechen die Ergebnisse für die gestaltpsychologische Annahme, dass produktives Denken zur Bildung neuer Strukturen oder Konfigurationen durch Umgruppierung führt (Wertheimer, 1925). Direction stelle einen wichtigen Faktor dar, der bestimmt, welche neuen Gruppierungen geformt werden. Ein genauer Mechanismus könne noch nicht angegeben werden, aber es sei möglich, dass direction bestimmte Spannungen im Kräftefeld der Situation erzeuge. In moderner Terminologie würde man direction wohl als Zielrepräsentation der Problemlösung bezeichnen. Insofern lassen sich die Ergebnisse aus Maiers Versuch auch als erste Evidenz dafür interpretieren, dass beim Problemlösen nicht nur die gegebene Ausgangssituation, sondern auch das angestrebte Ziel das Verhalten leiten kann (vgl. auch Dominowski & Dallob, 1995).

2.2.2 Ganzheit und Bewusstheit von Lösungen

In einer zweiten Studie führte Maier (1931) ein Experiment durch, mit dem er weitere zentrale Annahmen der gestaltpsychologischen Problemlöseforschung überprüfte. Insbesondere versuchte er herauszufinden, ob die Lösung dem Problemlöser als „Ganzes“ erscheint, was das bewusste Erleben vor dem Finden der Lösung ist, und ob Problemlöser Faktoren, die bei der Problemlösung helfen, bewusst berichten können. In dieser Studie verwendete er das bekannte „Zwei-Seile-Problem.“ Die Versuchsteilnehmer wurden in einen Raum gebracht, in dem zwei Seile an der Decke montiert waren, die bis zum Boden reichten. Eines der Seile befand sich in der Raummitte, eines befand sich nahe an einer der Wände. Außerdem befanden sich vielerlei Gegenstände im Raum, wie zum Beispiel Stäbe, Klammern, eine Zange, Verlängerungskabel, Tische und Stühle. Die Aufgabe bestand darin, die zwei Seile

zusammenzubinden, obwohl die Seile zu weit voneinander entfernt waren, um sie gleichzeitig zu greifen.

Das Problem hatte insgesamt vier Lösungen:

- Stelle einen Stuhl oder Tisch zwischen die Seile, befestige eines der Seile daran und hole das andere Seil heran;
- Verlängere ein Seil mit einem Verlängerungskabel und greife das andere mit der Hand;
- Halte ein Seil fest und ziehe das andere mit einem Stab heran;
- Pendellösung: Befestige ein Gewicht an einem der beiden Seile und versetze es in Schwingung. Ergreife das andere Seil, gehe zur Mitte und greife das schwingende Seil, sobald es sich annähert.

Maier war vor allem an der „Pendellösung“ interessiert, weil sie am meisten „Originalität“ erforderte und kaum davon auszugehen war, dass Vorwissen für diese Lösung bestand. Deswegen wurden die Versuchsteilnehmer, wenn sie Lösung 1-3 produzierten, aufgefordert, nach weiteren Lösungen des Problems zu suchen. Wenn die Pendellösung nach 10 Minuten nicht gefunden wurde, wurde ein erster Lösungshinweis gegeben (Maier, 1931): Der Experimentator wanderte im Raum umher, streifte dabei das Seil in der Mitte des Raumes, versetzte es dabei in eine leichte Schwingung und setzte seinen Weg zum Fenster fort. Die Teilnehmer wussten nicht, dass es sich dabei um einen Hinweis handelte.

Wurde das Problem nach diesem Hinweis nicht gelöst, dann folgte nach einigen Minuten ein weiterer Lösungshinweis. Dem Teilnehmer wurde mit folgendem Kommentar eine Zange gegeben: „Allein mit der Hilfe dieses Objekts kann eine weitere Lösung für das Problem gefunden werden.“ War auch dieser Lösungshinweis nicht wirksam, dann

wurde der erste Hinweis nach einiger Zeit wiederholt. Von den insgesamt 61 Teilnehmern lösten 24 das Problem selbständig, 23 lösten es nach Hinweisen und 14 fanden keine Lösung.

Maier war insbesondere an den 23 Personen interessiert, die das Problem nach Hinweisen lösten. Nur der erste Lösungshinweis war wirksam, was dadurch bestätigt wurde, dass die Lösung bei den meisten Personen weniger als 1 Minute nach der Darbietung dieses Lösungshinweises erfolgte. Danach analysierte Maier, bei wie vielen dieser Personen die Lösung „in Teilen“ auftrat und bei wie vielen sie „als Ganze“ auftrat. Dies machte er daran fest, ob die Idee, das Seil in Schwingung zu versetzen und die Idee, ein Gewicht daran zu befestigen, einzeln oder zusammen (d.h. als vollständige Lösung) auftraten. Maier zufolge erschien 16 Personen die Lösung als Ganzes und nur bei 7 Personen gab es Hinweise darauf, dass die Lösung in Teilen aufgetreten war. Von den 16 „Ganzlösungen“ tauchten 15 nach dem ersten Lösungshinweis auf. Keiner der betroffenen 15 Problemlöser gab an, das Schwingen des Seils bemerkt zu haben. Dies ist ein sehr bemerkenswertes Ergebnis: Der Lösungshinweis war wirksam, obwohl er nicht bewusst bemerkt wurde. Interessanterweise berichteten sechs der sieben Personen, bei denen die Lösung in Teilen zustande kam, dass sie die leichte Schwingung des Seils bemerkt hatten und auf die Idee kamen, es in eine stärkere Schwingung zu versetzen.

Maier berichtet weiter, dass die Problemlöser, die ohne Lösungshinweise auf die Pendellösung kamen, nicht erklären konnten, wie sie die Lösung gefunden hatten. Sie verwendeten Formulierungen wie „es kam mir einfach in meinen Sinn“, „es war das einzige was übrig blieb“, oder „ich stellte plötzlich fest, dass ich das Seil in eine Schwingung versetzen kann, wenn ich ein Gewicht daran befestige“. Maier schloss aus diesen Berichten, dass die Lösung, ähnlich wie die „Ganzlösungen“ nach Lösungshinweis, plötzlich und ohne vorher erkennbare Entwicklungen zustande kamen.

Maier diskutiert die Ergebnisse vor dem Hintergrund gestaltpsychologischer Annahmen. Demzufolge führte der Lösungshinweis, der das Seil in Schwingung versetzte, dazu, dass eine „Pendelorganisation“ der Situation in den Vordergrund trat. Die Ergebnisse würden die Annahme unterstützen, dass die Lösung von Problemen durch Veränderungen in Organisation oder Bedeutung zustande kämen und vom Problemlöser als subjektiv überraschend erlebt würden. Maier führt weiter aus, dass es vor diesem Hintergrund gar nicht verwunderlich ist, dass wirksame Lösungshinweise nicht wahrgenommen werden (Maier, 1931, S. 191):

„Before the solution is found there is inharmony. The reasoner cannot quite see the relation of certain things in the room to the solution of the problem. The next experience is that of having an idea. The ‚transformation‘ or ‚organization‘ stage is not experienced in reasoning any more than in reversible perspective. The new organization is suddenly there. It is the dominant experience and covers any factor which just preceded it.“

Mit seiner Erwähnung der „reversible perspective“ spielt er noch einmal auf die von den Gestaltpsychologen thematisierte Ähnlichkeit von Umstrukturierungsprozessen beim Problemlösen und Reorganisationsprozessen bei der Wahrnehmung von Kippfiguren an. Er schließt mit einer schönen Illustration der zum Finden der Pendellösung notwendigen Umstrukturierung, die in Abb. 5 wiedergegeben ist.

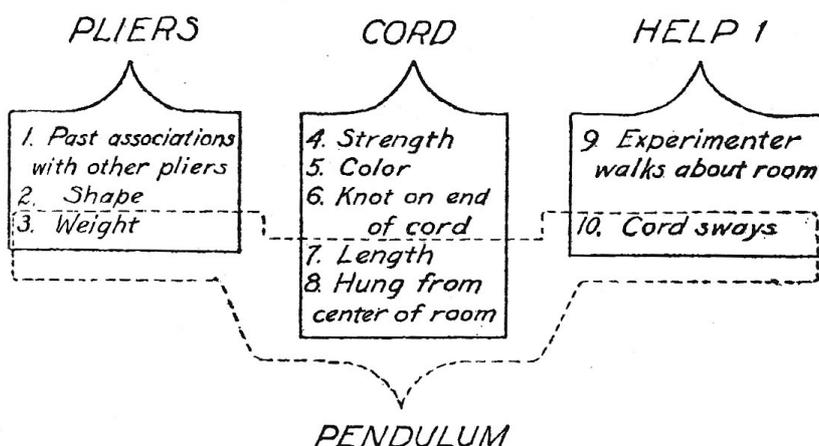


Abbildung 5: Illustration der Umstrukturierung, die zur Pendellösung führt. Dazu müssen alle Merkmale von Zange, Seil und Lösungshinweis, die nicht lösungsrelevant sind, in den

Hintergrund treten. Die relevanten Merkmale dagegen müssen in eine gemeinsame Struktur gebracht werden (gestrichelte Linie).

2.3 Karl Duncker: Umformulierung, Heuristiken und funktionale Gebundenheit

Karl Duncker war ein Schüler von Max Wertheimer und Wolfgang Köhler, der sich auf die Untersuchung von Denkprozessen spezialisierte. Seine Habilitationsschrift, die unter dem Titel „Zur Psychologie des produktiven Denkens“ 1935 in Buchform erschien, stellt den wohl wichtigsten Beitrag der Gestaltpsychologie zur Problemlöseforschung dar. Viele der Konzepte und Methoden, die Duncker in dieser Arbeit einführte, gingen später in die kognitionswissenschaftliche Problemlöseforschung ein. Grund dafür war, dass Duncker anders als etwa Köhler, Maier und Wertheimer nicht ausschließlich auf die Plötzlichkeit der Umstrukturierung fokussierte, sondern auch untersuchte, wie sich Problemlöser schrittweise der Lösung von Problemen annähern. In seiner Analyse dieser schrittweisen Annäherung waren bereits viele der Prinzipien angelegt, die später zu zentralen Eckpunkten von Newell und Simons (1972) Problemraumtheorie wurden.

Duncker versuchte aber auch, die bei Einsicht und Umstrukturierung zugrunde liegenden Prozesse zu konkretisieren und die Rolle früherer Erfahrungen beim Problemlösen weiter zu klären. Insofern legte er als erster eine umfassende Theorie des Problemlösens vor. Wolfgang Köhler schreibt im Vorwort zur 1945 erschienenen amerikanischen Ausgabe „On problem solving“:

„Dunckers book, it seems to me, has penetrated farther into its subject than most other enterprises with a similar program“.

Das Buch ist auch heute noch lesenswert und eine wahre Fundgrube für Inspirationen. Allerdings bleibt Köhlers Warnung an den Leser „This is not an easy book“ auch heute noch gültig.

2.3.1 Problemlösen als Umformulierung

Ähnlich wie Köhler ging Duncker von der grundsätzlichen Frage aus, was Menschen tun, wenn sie ein bestimmtes Ziel haben, aber das zur Lösung notwendige Wissen nicht besitzen. Er reduzierte Problemlösen aber nicht auf das Auffinden der kritischen Relationen zwischen Elementen einer Problemsituation, sondern stellte sich explizit die Frage nach der Genese der Lösung, also den Zwischenprodukten, die während der Lösung auftreten und den Prozessen, die diese Produkte generieren.

Duncker verwendete in seinen empirischen Untersuchungen unterschiedliche praktische und mathematische Probleme, von denen vor allem das Bestrahlungsproblem bekannt geworden ist und auch in der aktuellen Forschung noch häufig verwendet wird (z.B. Gick & Holyoak, 1980; Grant & Spivey, 2003; siehe auch Abschnitt 3.3.3 und Abb. 19). Da sich Dunckers wichtigste Konzepte an diesem Problem gut illustrieren lassen, wird auf eine Darstellung seiner Untersuchungen zu weiteren Problemen verzichtet. Das Problem lautet wie folgt:

„Gesucht ein Verfahren, um einen Menschen von einer inoperablen Magengeschwulst zu befreien mit Hilfe von Strahlen, die bei genügender Intensität organisches Gewebe zerstören – unter Vermeidung einer Mitzerstörung der umliegenden gesunden Körperpartien.“ (Duncker, 1935, S. 1).

Die Lösung besteht darin, mehrere schwächere Strahlungen aus unterschiedlichen Richtungen auf den Tumor zu lenken, so dass sich die Strahlen im Tumor kreuzen, dadurch addiert sich die Intensität der Strahlen am Ort des Tumors. Das gesunde Gewebe wird nun durch die niedrigere Strahlungsintensität nicht geschädigt. Dies kann entweder durch mehrere Strahlungsquellen erreicht werden, oder dadurch, dass der intensive Strahl einer Quelle mithilfe einer Linse so aufgefächert wird, dass sich die Teilstrahlen im Tumor wieder vereinigen.

Dunckers Hauptdatenquelle waren Protokolle des „Lauten Denkens“. Er forderte nämlich seine Versuchsteilnehmer auf, die Gedanken, die ihnen beim Lösen des Problems

durch den Kopf gingen, gleichzeitig laut auszusprechen. Er grenzte die Methode des Lauten Denkens von der Methode der Introspektion ab, die vor allem von Vertretern der Würzburger Schule verwendet worden war (z.B. Bühler, 1907): „Diese Instruktion „laut denken“ ist nicht identisch mit der bei Denkexperimenten sonst üblichen Aufforderung zur Selbstbeobachtung“ (Duncker, 1935, S. 2). Während bei der Introspektion das eigene Denken zum Objekt der Beobachtung gemacht würde, bliebe beim Lauten Denken der direkte Bezug zum Problem erhalten, die Problemlöseaktivität drücke sich nur zusätzlich verbal aus. Später erwuchs innerhalb der Kognitionspsychologie ein heftiger Streit um die Verwendung von Protokollen Lauten Denkens als Datenquelle (Deffner, 1989; Ericsson & Simon, 1984, 1993; Nisbett & Wilson, 1977), der immer noch andauert (Knoblich & Rhenius, 1995; Schooler, Ohlsson & Brooks, 1993). Trotz der späteren Kritik an der Methode ging Duncker sicherlich recht in der Annahme, dass die Datenqualität von Protokollen Lauten Denkens deutlich höher anzusetzen ist als die von introspektiv gewonnener Daten.

Duncker zufolge ging aus den Protokollen, die bei der Lösung des Bestrahlungsproblems erhoben wurden, unmittelbar hervor, dass sich der Prozess des Problemlösens als eine Abfolge mehr oder weniger konkreter Lösungsvorschläge darstellt (Duncker, 1935, S. 4). Diese seien nicht zufällig, also durch Versuch und Irrtum generiert, weil auch Vorschläge, die nicht zur Lösung führten, klar durch die Erfordernisse der Aufgabe getrieben seien. Zudem ließen sich unterschiedliche Kategorien von Lösungsvorschlägen unterscheiden. Auf der Basis solcher Kategorien generierte Duncker Lösungsstammbäume (Duncker, 1935, S. 5), die einzelne Lösungsvorschläge nach deren „Funktionalwert“ gruppieren, also nach der Wirksamkeit, mit der sie zur Erreichung des Ziels führten (siehe Abb. 6).



Abbildung 6: Graphische Darstellung des Lösungstammbaums zu Dunckers Strahlenproblem. Innerhalb des Baums wurden die unterschiedliche Lösungsvorschläge von Duncker nach dem Grad der Verwandtschaft gruppiert. Einzig der ganz rechte Ast führt schließlich zur Lösung des Problems.

Demnach lassen sich zunächst drei unterschiedliche Ansätze verfolgen, um den Magentumor zu zerstören, ohne das gesunde Gewebe zu beschädigen. Man kann entweder versuchen, den Kontakt zwischen gesundem Gewebe und Strahlen zu vermeiden, die Empfindlichkeit des gesunden Gewebes gegenüber der Strahlung zu vermindern oder die Strahlenintensität auf dem Weg zum Tumor zu reduzieren. Nur der letzte Ansatz führt schließlich zum Erfolg. Folgt man dem Ansatz, den Kontakt zwischen gesundem Gewebe und Strahlen zu vermeiden, können durchaus Lösungsvorschläge generiert werden, wie z.B. die Strahlen durch die Speiseröhre zu lenken oder den Tumor durch Druck an die Oberfläche zu bewegen. Allerdings sind die Lösungen nicht möglich, weil sie bestimmte Aspekte des Problems außer Acht lassen: Natürlich durchdringen Strahlen anders als Flüssigkeiten auch die Wände der Speiseröhre und natürlich lässt sich ein Magentumor nicht durch die Haut bewegen.

Duncker maß dem Funktionalwert von Lösungsvorschlägen eine zentrale Bedeutung bei. Würde der Problemlöser nicht den Funktionalwert verschiedener Lösungsvorschläge erkennen, dann könne er gar nicht wissen, wann eine Lösung gefunden ist. Erst das

Erkennen des Funktionalwertes führe zum Verstehen der Lösung. Auch Duncker verleugnete nicht, dass manchmal frühere Lösungen „ohne Funktionalverständnis blindlings übertragen“ würden (Duncker, 1935, S. 8). Diese seien aber viel seltener als ein reine Versuch- und Irrtum-Strategie vermuten lasse. In Anlehnung an Köhler schlägt er vor, „törichte“ und „gute“ Fehler zu unterscheiden. Im Unterschied zu törichten Fehlern deuteten gute Fehler zumindest auf ein allgemeines funktionales Verständnis der gegebenen Problemsituation hin. Duncker zufolge ist das Verstehen des Funktionalwertes einer Lösung auch die wichtigste Voraussetzung für den erfolgreichen Transfer („Transponierbarkeit“) der Lösung auf andere Problemsituationen (Duncker, 1935, S. 7):

„Transponierbar ist eine Lösung nur dann, wenn ihr Funktionalwert, ihr generelles Prinzip erfaßt ist, d.h. die Invariante, aus der durch Einsetzung der variierten Situationsbedingungen jedes Mal die angemessene Mitvariation der Lösung hervorgeht.“

Die hierarchische Struktur der Lösungstambäume (siehe Abb. 6) hat Duncker zufolge auch „genetische Signifikanz“. Damit ist gemeint, dass konkrete Lösungsvorschläge nicht etwa direkt aus der Problemstellung entwickelt werden. Vielmehr erscheine der Funktionalwert der Lösung zuerst und würde dann immer weiter konkretisiert. Die allgemeinen oder essentiellen Bestandteile der Lösung gehen ihren spezifischen Eigenschaften voraus (Duncker, 1935, S. 9). Zur Illustration: Bevor ein Problemlöser den Vorschlag generiert, die Strahlen durch die Speiseröhre zu leiten, muss er sich Duncker zufolge zunächst verdeutlichen, dass man das Problem vielleicht dadurch lösen kann, dass man den Kontakt zwischen Strahlen und gesundem Gewebe vermeidet, und dass man den Kontakt vielleicht vermeiden kann, indem man einen freien Pfad zum Magen nutzt (vgl. Abb. 6, dem Lösungsbaum von der Spitze immer nach links folgen).

An dieser Stelle wird sehr deutlich, dass Dunckers Überlegungen wegweisend für die moderne kognitionspsychologische Problemlöseforschung waren. Was er als „allgemeinen, nicht konkreten, Funktionalwert einer Lösung“ charakterisiert, wird

inzwischen als Repräsentation des Ziels oder eines Teilziels bezeichnet. Den Prozess, der zum Entdecken einer allgemeinen Eigenschaft der Lösung des Problems führt, bezeichnet Duncker als „Umformulierung“ des Originalproblems. Problemlösen bedeutet demnach, ein Problem sukzessiv umzuformulieren, bis eine gangbare Lösung entdeckt wird. Auch hier wird die Nähe zur modernen Problemraumtheorie deutlich, die Problemlösen als eine schrittweise Transformation eines Ausgangszustandes in einen Zielzustand konzeptualisiert (Newell & Simon, 1972, siehe auch Abschnitt 3.1).

In seinen weiteren Ausführungen wies Duncker darauf hin, dass die Endform einer Problemlösung nicht immer über ihren Funktionswert zustande kommt. Komplementär zu solchen „Anregungen von oben“ würden auch „Anregungen von unten“ genutzt. Folgendes Beispiel soll den Unterschied zwischen den beiden Hinweistypen illustrieren. Versucht ein Person z.B., etwas außerhalb ihre Armreichweite Befindliches heranzuholen, so erkennt sie, dass sie dazu etwas Langes und Bewegliches braucht (Funktionalwert) und sucht deshalb in ihrer Umgebung nach einem derartigen Gegenstand. Dabei findet sie vielleicht einen Regenschirm, der diese Eigenschaften erfüllt und so den erforderlichen Funktionalwert in sich trägt, aber zunächst nicht offenbart; dies wäre eine „Anregung von oben“. Es ist jedoch auch der umgekehrte Weg denkbar, nämlich, dass die Person zunächst den Regenschirm sieht und dadurch gewahr wird, nach welchem Funktionalwert sie sucht; dies nennt Duncker „Anregung von unten“.

Solche „Anregungen von unten“ würden umso eher verstanden, je besser sie zu der schon in Entwicklung befindlichen Problemlösung passten, also je genauer sie schon antizipiert wurden. Duncker übernimmt hier das von Otto Selz formulierte allgemeine Gesetz der Antizipation (Selz, 1913). Als Beispiel führt er wiederum das Bestrahlungsproblem an: Wenn eine Person gerade begänne das Problem zu lösen, könne der Experimentator ein Kreuz malen oder über Kreuzungen sprechen (was einen Hinweis auf die richtige Lösung der Aufteilung und Bündelung der Strahlenquelle darstellt), ohne

dass die Person den Hinweis verstünde. Wenn die Person dagegen schon von selbst in die Richtung der Aufspaltung der Strahlenquelle denken würde, könne dagegen derselbe Hinweis, eine Hilfe darstellen, die das Finden der Lösung erleichtert.

Eine weitere potentielle Quelle des Fortschritts beim Problemlösen ist Duncker zufolge das Lernen aus Fehlern. Demzufolge ist der Misserfolg mit einem zunächst eingeschlagenen Lösungsansatz Voraussetzung dafür, dass ein neuer Ansatz eingeschlagen wird. Führten z.B. beim Bestrahlungsproblem unterschiedliche Lösungsvorschläge, in denen versucht wird, Kontakt zwischen gesundem Gewebe und der Strahlung zu vermeiden, nicht zum Erfolg, dann würde dies die Suche nach einem anderen Lösungsansatz anstoßen, z.B. die Strahlungsintensität auf dem Weg zum Tumor zu reduzieren. Lernen aus eigenen Fehlern ist also nicht im Sinne der Assoziationstheorie zu verstehen, sondern eher im Sinne eines Strategiewechsels oder der Bildung eines alternativen (Teil-) Ziels zu begreifen.

Abschließend seien hier noch einige Bemerkungen zu Duncckers Verwendung von Protokollen des Lauten Denkens angefügt. Obwohl Duncker davon überzeugt war, dass die in den Protokollen Lauten Denkens gemachten Äußerungen wichtige Aspekte des Problemlöseprozesses widerspiegeln, war ihm durchaus bewusst, dass die Protokolle zwangsläufig lückenhaft waren und somit nicht alle Aspekte der Lösung beinhalten (Duncker, 1935, S. 12):

„Ein Protokoll ist – so könnte man es formulieren – nur für das, was es positiv enthält, einigermaßen zuverlässig, nicht dagegen für das, was es nicht enthält.“

Entsprechend nahm er an, dass zusätzlich zu den Umformulierungen, die in den Protokollen sichtbar wurden, andere Lösungsphasen auftraten, deren Inhalte nicht verbalisiert wurden oder nicht verbalisiert werden konnten. Mit diesen Überlegungen steht er natürlich auch nicht im Widerspruch zu der Position, dass Umstrukturierung und

Einsicht plötzlich und für den Problemlöser überraschend und unvorhergesehen auftreten können.

2.3.2 Problemanalyse und heuristische Methoden

Duncker stellte weitere umfangreiche, vor allem theoretisch motivierte Überlegungen zur Problemanalyse an. Damit versuchte er, im Detail die Frage zu beantworten, wie Problemlöser zu erfolgreichen Lösungen gelangen. Dabei unterschied er drei Analysetypen:

- Situationsanalyse als Konfliktanalyse;
- Situationsanalyse als Materialanalyse;
- Zielanalyse.

Duncker nimmt an, dass die Konfliktelemente in der Problemsituation kritisch für das Finden der Lösung sind: „Eine Lösung besteht allemal in einer Variation irgendeines kritischen Situationsmoments“ (Duncker, 1935, S. 24). Entsprechend maß er der genauen Analyse der Situation im Hinblick auf Konflikte einen hohen Stellenwert bei:

„[...] ‚inständige‘ Analyse der Situation, im besonderen das Bestreben, geeignete Situationsmomente sinngemäß sub specie des Ziels zu variieren, müssen zum eigentlichen Wesen einer Lösungsentstehung durch Denken gehören [...] Jeder Lösung entspricht ein in der Situation vorhandener Konfliktgrund. Die Situationsanalyse ist daher in erster Linie ‚Konfliktanalyse‘“ (Duncker, 1935, S. 24-25).

So fragten sich z.B. Problemlöser im Bestrahlungsproblem, welche Elemente der Situation dafür verantwortlich sind, dass auch das gesunde Gewebe zerstört wird. Aus dieser Erkenntnis heraus konnten sie tiefer in die Natur des dem Problem zugrunde liegenden Konflikts eindringen.

Eine zweite Form der Situationsanalyse besteht in der Analyse des zur Problemlösung zu Verfügung stehenden Materials („Was kann ich brauchen“). Neben Situationselementen,

die entweder nicht für die Lösung relevant seien oder durch die Lösung verändert würden (Konfliktelemente), enthalte die Situation auch andere Elemente, die in der Lösung „verwendet“ werden könnten. Oft würden sich solche „Materialmomente“ durch „Hinweise von unten“ als Mittel anbieten, mit denen eine anvisierte Situationsänderung erreicht werden könnte. Material ist hier nicht nur im Sinne konkreter Werkzeuge gemeint, sondern allgemeiner, im Sinne von Situationselementen, die eine bestimmte Form der Lösung suggerieren.

Zur Illustration berichtete Duncker ein Experiment, bei dem Versuchsteilnehmern, die Maiers Zwei-Seile-Problem lösten (siehe Abschnitt 2.2.2), vor der Lösung eine der in Abb. 7 dargestellten Skizzen gezeigt wurden. Skizze a) suggeriert Lösungsansätze, bei denen sich zunächst ein Seil an der zentralen Position befindet. Entsprechend produzierten die Teilnehmer, denen die Skizze a) gezeigt wurde, in 2/3 der Fälle die „Ankerlösung“, in der zunächst ein Seil in der zentralen Position an einem schweren Gegenstand befestigt wird, und danach das verbleibende Seil herangeholt wird. In den Gruppen, die Skizze b) oder c) sahen, wurde diese Lösung viel seltener, nämlich nur in 1/4 der Fälle produziert.

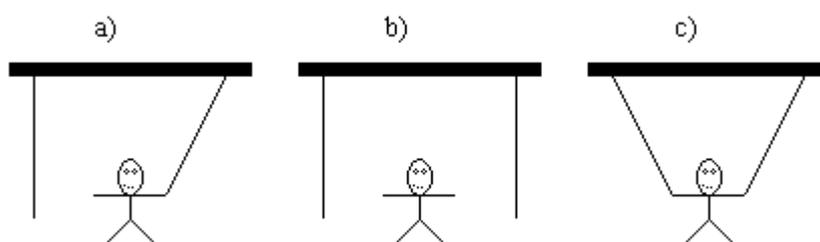


Abbildung 7: Dunckers Lösungshinweise zum Zwei-Seile-Problem. Hinweis a) erwies sich als wirkungsvoller im Vergleich zu b) und c).

Schließlich analysieren Problemlöser gemäß Duncker nicht nur die Konflikte und das Material der gegebenen Situation, sondern auch das Ziel der Problemlösung (Duncker,

1935, S. 27): „Was will ich wirklich?“, „was kann ich entbehren?“ Durch Analyse des eigentlichen Ziels könne sich Denken von „hinderlichen Fixierungen“ befreien und damit neue Lösungsmöglichkeiten eröffnen. Wiederum exemplifiziert Duncker diesen Gedanken anhand des Bestrahlungsproblems: Wenn sich der Problemlöser fragt, welche Problemelemente bei der Lösung keine Rolle spielen, entdeckt er mit höherer Wahrscheinlichkeit, dass die gebündelte Bewegung der Strahlen, die durch die Ausgangssituation suggeriert wird, überhaupt nicht vonnöten ist.

Konfliktanalyse, Materialanalyse und Zielanalyse bezeichnete Duncker zusammenfassend als heuristische Methoden des Denkens. Er ging davon aus, dass solchen heuristischen Methoden ein zentraler Stellenwert beim Problemlösen zukommt. Interessanterweise würden diese Methoden von den Problemlösern nicht explizit erwähnt und wären damit von Lösungsvorschlägen zu unterscheiden (Duncker, 1935, S. 28): „Sie fragen: wie finde ich die Lösung, nicht, wie finde ich das Ziel.“ Auch mit dieser Annahme nahm er einen zentralen Eckpunkt der modernen Problemraumtheorie (Newell & Simon, 1972) vorweg. Es ist allerdings zu beachten, dass Duncker den Begriff der Heuristik tendenziell weiter fasste als die meisten Informationstheoretiker, die diesen Begriff vor allem für Methoden verwenden, die zur Verkleinerung des Suchraumes dienen.

2.3.3 Umstrukturierung, volle Einsicht und teilweise Einsicht

In den bisher dargestellten Aspekten von Duncckers Arbeit kamen die Begriffe Umstrukturierung und Einsicht, die in den Arbeiten Köhlers und Maiers eine zentrale Rolle spielen, noch nicht vor. Tatsächlich wendete er sich diesem Thema erst zu, nachdem er die Beschreibung des Problemlösens als sukzessive Umformulierung eines Problems und seiner Analyse mit Hilfe von heuristischen Methoden abgeschlossen hatte. Zu Beginn seiner Behandlung von Umstrukturierung qualifizierte Duncker seine schon vorher formulierte Annahme, dass jede Lösung notwendigerweise eine Veränderung der

gegebenen Situation darstellt: Diese Veränderung finde nicht einfach in einzelnen Problemelementen statt, vielmehr „wird die psychologische Gesamtstruktur der Situation bzw. gewisser ausgezeichnete Teilbereiche“ verändert (Duncker, 1935, S. 34-35). Diese Art von Veränderung bezeichnete Duncker als Umstrukturierung des Denkmaterials. Im Laufe der Problemlösung würde das „Figur-Grund-Relief“ der Situation geändert. Teile der Situation, die zunächst im Hintergrund standen, träten dabei hervor, würden so zur Figur und gerieten somit in den Fokus der Anstrengungen. Besonders radikale Umstrukturierungen träten auf, wenn Teile einer Situation, die anfänglich als Teile unterschiedlicher Ganzheiten betrachtet wurden, sich schließlich zu einem neuen Ganzen zusammenfügten.

Ein wichtiger Aspekt dieser Ausführungen ist sicherlich, dass Duncker Umstrukturierung nicht nur auf eine schlagartige Uminterpretation von Denkinhalten anwendet, die mit dem Kippen des Wahrnehmungseindrucks bei ambigen Figuren vergleichbar ist, sondern auch auf die Neuakzentuierung bestimmter Situationselemente für den Lösungsprozess. Entsprechend glaubte er auch, dass viele unterschiedliche Formen von Umstrukturierung existierten. Insbesondere nahm er an, dass nicht nur die Organisation der Elemente in der Problemsituation, sondern auch die Zielformulierung eine entscheidende Rolle für das Auftreten von Umstrukturierungen spielen kann:

„Eine Umstrukturierung wird im allgemeinen umso leichter vollzogen, je schärfer in der Forderung die neue Struktur anvisiert ist“ (Duncker, 1935, S. 44).

Duncker verfolgte den sehr ehrgeizigen Anspruch, eine vollständige Theorie der Einsicht zu entwickeln, und widmete der Entwicklung dieser Theorie den ganzen zweiten Teil seiner Monographie. Seine Ausführungen sind vorwiegend philosophisch und von bestimmten mathematischen und wissenschaftstheoretischen Annahmen geprägt, die in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts aktuell und bahnbrechend waren. Dies ist wahrscheinlich einer der Gründe, wieso Duncokers umfangreiche theoretische Ausführungen zur Einsicht für den heutigen Psychologen (vielleicht auch nur für die

Autoren dieses Kapitels) in weiten Teilen schwer verständlich sind. Sie werden deshalb nur in Grundzügen dargestellt.

Der vielleicht wichtigste Aspekt von Dunckers Theorie der Einsicht ist die Unterscheidung zwischen totaler Einsicht und partieller Einsicht, die er folgendermaßen definiert:

„Eine Verknüpfung zweier Gegebenheiten a und b heiße ‚total einsichtlich‘, wenn unmittelbar aus a entnommen werden kann, daß, wenn a auch b und genau b gilt. (‚Uneinsichtlich‘ ist eine Verknüpfung also in dem Maße, als sie ‚bloß noch hinzunehmen‘ ist). ‚Partiell einsichtlich‘ heiße eine Verknüpfung, wenn wenigstens gewisse Züge von b aus a entnommen werden können – oder wenigstens durch a vor anderen Denkbareiten ausgezeichnet sind.“ (Duncker, 1935, S. 56f).

Wir wenden uns zunächst der „totalen Einsicht“ zu: Betrachtet man Dunckers Definition der totalen Einsicht, stellt sich sofort die Frage, wieso Problemlöser die Lösung eines Problems (Gegebenheit b) nicht direkt aus der Problemstellung (Gegebenheit a) entnehmen können, wenn doch Gegebenheit b direkt aus Gegebenheit a ablesbar ist. Dazu bemerkt Duncker, dass sich eine totale Einsicht deswegen nicht immer von vornherein aus der Situation ablesen lässt, weil Problemlöser einen bestimmten Blickwinkel auf die Situation einnehmen und deshalb zwangsläufig nicht alle Fakten, die potentiell aus der Situation abgelesen werden können, auch tatsächlich aus der Situation ablesen. In anderen Worten: Jede Situation lässt unterschiedliche Interpretationen durch die Person zu. Bei jeder Interpretation werden nur bestimmte Fakten berücksichtigt und andere vernachlässigt.

„Ein und derselbe paradigmatisch in der Anschauung konstruierte Sachverhalt lässt sich a) von neuen Seiten b) in neuen Richtungen, c) in neuen Zusammenfassungen, d) zum ersten Mal als Ganzes usw. betrachten.“ (Duncker, 1935, S. 62).

Eine totale Einsicht kann daher häufig erst erfolgen, wenn die Situation in einer geeigneten Weise uminterpretiert wird:

„[...] Einsicht ist dadurch möglich, daß von einem in bestimmter Gestaltung gegebenen und durch bestimmte Funktionen (Aspekte) charakterisierten Sachverhalt bei identisch festgehaltenen Fundamenten neue, d.h. zur Charakterisierung nicht mit verwendete

Funktionen (Aspekte) vermöge neuer Gestaltungen (Betrachtungsweisen) ablesbar sind.“
(Duncker, 1935, S. 65).

Als Beispiel für eine totale Einsicht führt Duncker wiederum das Bestrahlungsproblem an. Die zur Lösung des Bestrahlungsproblems notwendige Einsicht besteht demzufolge in der Realisierung, „daß an der Kreuzungsstelle mehrerer Materialtransporte mehr Material ist als an den übrigen Stellen. Diese Materialhäufung ist einsichtig ablesbar vom Modell der sich kreuzenden Transporte“ (Duncker, 1935, S. 71). In moderner Ausdrucksweise: Die Hauptschwierigkeitsquelle des Bestrahlungsproblems besteht darin, die Einsicht zu erlangen, dass sich die Intensität zweier Strahlungsquellen im Schnittpunkt beider Quellen addiert. Duncker zufolge impliziert diese Einsicht ein „tieferes Verstehen“ der Lösung als die vorher von ihm selbst vorgeschlagene Analyse von Funktionalwerten (siehe 2.3.1).

Im Gegensatz zur totalen Einsicht ist partielle Einsicht dadurch gekennzeichnet, dass die Lösung eines Problems nicht direkt aus der gegebenen Problemsituation abgelesen werden kann. Partielle Einsicht tritt Duncker zufolge in Situationen auf, in denen keine zwingenden Zusammenhänge zwischen einer Problemsituation und ihrer Lösung bestehen. Vielmehr bestehen partielle Einsichten darin, „zu erfassen worauf es ankommt“ (Duncker, 1935, S.76). Als bedeutende Voraussetzung für partielle Einsicht sah er die „abstraktive Induktion“ an, also die Fähigkeit des Menschen, aus Einzelbeobachtungen abstrakte Gesetzmäßigkeiten über die „konstante Struktur von Variablen“ (Duncker, 1935, S. 75) abzuleiten. Wenn ein Problemlöser feststellt, dass eine solche abstrakte Gesetzmäßigkeit auf eine konkrete, neue Situation angewendet werden kann, kommt es zur partiellen Einsicht. Diese Überlegungen machen Duncker zu einem Vorreiter der kognitionspsychologischen Forschung zum analogen Schließen beim Problemlösen (Gentner, Holyoak, & Kokinov, 2001; Gick & Holyoak, 1980, 1983; Holyoak & Thagard, 1995; Kokinov, 2001) Die Grundannahme dieser Forschungsrichtung, die

besagt, dass der Abruf strukturell ähnlicher Probleme zur Lösung neuer Probleme führen kann, nahm Duncker mit seinen Ausführungen zur partiellen Einsicht schon früh vorweg.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass Duncker den Begriff partielle Einsicht vollkommen anders verwendete als Koffka (1935) in seinem Klassiker „Principles of Gestalt Psychology“. Koffka, dessen Stärken vor allem in der Wahrnehmungspsychologie lagen, verstand unter „partial insight“ eine Einsicht, die nur zur teilweisen Lösung eines Problems führt. Auch in der Kognitionspsychologie wird „partial insight“ vor allem in diesem Sinne verwendet (vgl. Ohlsson, 1992).

2.3.4 Funktionale Gebundenheit

Im letzten Teil seiner Monographie berichtet Duncker eine Reihe von Experimenten zur *funktionalen Gebundenheit*. Dieser Teil der Arbeiten Dunckers hat wohl auch heute noch den größten Bekanntheitsgrad, nicht zuletzt, weil die Experimente zur funktionalen Gebundenheit noch immer in den meisten einführenden Lehrbüchern der Psychologie behandelt werden. Mit diesen Experimenten versuchte Duncker herauszufinden, inwiefern die Verwendung eines Gegenstands in seiner gewohnten Funktion, die Verwendung desselben Gegenstands in einer neuen Funktion behindert. Dazu entwickelte er mehrere Aufgaben, unter anderem das berühmte „Schachtelproblem“ (oft auch Kerzenproblem genannt):

„An der Tür, in Augenhöhe, sollen nebeneinander drei kleine Kerzen angebracht werden [...] Auf dem Tisch liegen unter vielen anderen Gegenständen einige Reißnägel und die kritischen Gegenstände: drei kleine Pappschachteln (ungefähr von der Größe eine gewöhnlichen Streichholzschachtel, etwas verschieden voneinander in Form und Farbe und an verschiedenen Stellen gelegen). Lösung: mit je einem Reißnagel werden die drei Schachteln an der Tür befestigt, um je einer Kerze als Standfläche zu dienen. – In der Fassung mV waren die drei Schachteln mit Versuchsmaterial gefüllt; in einer befanden sich mehrere kleine dünne (Spiel)kerzen, in einer anderen Reißnägel und in einer dritten Streichhölzer. In oV waren die drei Schachteln leer. Also F1 ‚Behälter‘, F2 ‚Plattform‘ (zum Daraufstellen).“ (Duncker, 1935, S. 104).

Die Abkürzungen mV und oV stehen für die beiden experimentellen Bedingungen und bedeuten „mit Vorverwendung“ (mV) und ohne Vorverwendung (oV), F1 steht für die

gewohnte Funktion und F2 für die ungewohnte Funktion von Gegenständen, in diesem Fall der Schachteln. Die Logik war folgende: Sind die Schachteln mit Material gefüllt (mV), so wird die gewohnte Funktion von Schachtel als „Behälter“ stark betont (in Dunckers Terminologie: der Gegenstand ist gebunden). Sind die Schachteln leer, so erfüllen sie nicht ihre gewohnte Funktion als „Behälter“ (in Dunckers Terminologie: der Gegenstand ist nicht gebunden). Dunckers Hypothese war nun, dass eine Umstrukturierung (Duncker schreibt „Umzentrierung“) der Funktion von Gegenständen umso leichter vorgenommen werden kann, je weniger sie in einer Situation ihre gewohnte Funktion erfüllen. Seine Ergebnisse unterstützen diese Vermutung. In der oV-Bedingung (Schachteln leer) konnten alle 7 teilnehmenden Versuchspersonen das Problem lösen, während in der mV-Bedingung (Schachteln mit Material gefüllt) nur 3 von 7 Versuchspersonen das Problem lösen konnten. Natürlich waren die Versuchspersonenzahlen in Dunckers Experiment sehr gering. Spätere Studien belegen jedoch, dass Effekte funktionaler Gebundenheit sehr robust sind (Adamson, 1952; Birch & Rabinowitz, 1951; Defeyter & German, 2003; German & Defeyter, 2000; Weisberg & Suls, 1973).

Ähnliche, wenn auch weniger deutliche Ergebnisse, ergaben sich für die wenig bekannten, aber nicht minder pfiffigen anderen Aufgaben, die Duncker verwendete (Duncker, 1935, S. 103ff):

- *Bohreraufgabe:* Ein Bohrer musste als Aufhängung benutzt werden. In mV musste der Bohrer zunächst zum Bohren von Löchern verwendet werden, in oV nicht.
- *Zangenaufgabe:* Eine Zange musste als Träger benutzt werden. In mV musste die Zange zunächst zum Herausziehen eines Nagels verwendet werden, in oV nicht.

- *Gewichtsaufgabe*: Ein Pendelgewicht musste als Hammer benutzt werden. In mV hing das Pendelgewicht an einer Schnur, in oV nicht.
- *Büroklammeraufgabe*: Eine Büroklammer musste aufgebogen und als Haken benutzt werden. In mV mussten Büroklammern zunächst zum Befestigen verwendet werden, in oV nicht.
- *Korkenaufgabe*: Ein Korken musste zum Festklemmen einer Leiste verwendet werden. In mV steckte der Korken auf einem Tintenfass, in oV nicht.

Duncker fasst die Ergebnisse der Experimente folgendermaßen zusammen:

„Unter unseren Versuchsbedingungen wird der nicht gebundene Gegenstand fast doppelt so leicht gefunden wie der gebundene.“ (Duncker, 1935, S. 105).

Allerdings begnügte er sich nicht mit diesem Schluss, sondern arbeitete insgesamt 10 Faktoren heraus, die funktionale Gebundenheit erzeugen und damit Umstrukturierungen (Umzentrierungen) erschweren können. Die wichtigsten dieser Faktoren wollen wir nachfolgend kurz darstellen.

Als ersten Schwierigkeitsfaktor nennt Duncker fehlende Hinweise auf spezifische Funktionen des Gegenstands (Duncker: *Keine Signalisierung inhaltlicher (optischer) Eigenschaften des kritischen Gegenstandes*). Damit ist gemeint, dass die Suche nach einer bestimmten Funktion oft mit Vorstellungen von prototypischen Gegenständen einhergeht, die diese Funktion erfüllen:

„[...] gesucht ‚etwas womit man einen Nagel in die Wand schlagen kann‘ [...] Diese topische Antizipation erweckt sofort das optische Bild eines ‚Hammers‘ resp. eines hammerähnlichen d.h. harten, schweren Gegenstandes“ (Duncker, 1935, S. 110).

Duncker zufolge leiten solche Vorstellungen die Suche nach geeigneten Gegenständen in der Problemsituation. Wenn nun ein anderer harter, schwerer Gegenstand (z.B. ein Pendelgewicht) in der Situation vorhanden ist, kann er relativ leicht in der Funktion eines Hammers verwendet werden. Wenn aber ein Gegenstand keine solchen

Eigenschaftsüberlappungen mit dem vorgestellten Gegenstand aufweist, fällt die Verwendung in einer neuen Funktion schwerer, wie z.B. bei der Schachtelaufgabe.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Aktualität der ursprünglichen Funktion eines Gegenstandes (Duncker: *FI noch ganz aktuell*). Dies kann man sich leicht anhand eines Vergleichs der Schachtelaufgabe und der Zangenaufgabe verdeutlichen. Ist eine Schachtel in der Problemsituation mit Material gefüllt, dann bleibt die Behälterfunktion solange erhalten, bis man das Material aus der Schachtel entnimmt. Die ursprüngliche Funktion bleibt also die ganze Zeit aktuell (Duncker: Die Schachtel verharrt in ihrer statischen Behälterfunktion). Muss man dagegen eine Zange zunächst zum Herausziehen eines Nagels verwenden und danach in der Funktion eines Trägers, behält die Zange ihre ursprüngliche Funktion nur so lange bei, bis der Nagel herausgezogen ist, und ist daher höchstens in Nachwirkungen aktuell (Duncker: Die dynamische Zangenfunktion der Zange hört gleichzeitig mit ihrer Benutzung als Zange auf). Duncker vermutet, dass eine Umstrukturierung umso schwerer fällt, je höher die Aktualität der ursprünglichen Funktion ist.

Ein dritter Faktor, der die Stärke der Gebundenheit beeinflusst, ist die habituelle Verknüpfung eines Gegenstands mit einer bestimmten Funktion (Duncker: *FI habituell für den kritischen Gegenstand*). Damit ist gemeint, dass die Erfahrung mit dem Gebrauch von Gegenständen bestimmte Funktionen eher nahe legt als andere Funktionen. Schwierig wird die Umstrukturierung immer dann, wenn ein Gegenstand in einer ungewohnten Funktion gebraucht werden muss. Wird ein Gegenstand dagegen zuerst in einer ungewohnten Funktion verwendet, dann sollte das den habituellen Gebrauch nur wenig beeinflussen. So fällt es nicht schwer, z.B. einen Hammer erst als Gewicht zu benutzen, um ihn gleich danach zum Einschlagen eines Nagels zu verwenden.

Der letzte der Schwierigkeitsfaktoren, der etwas ausführlicher besprochen werden soll, ist die Notwendigkeit einer Manipulation des Gegenstands, bevor er in einer neuen Funktion

gebraucht werden kann (Duncker: *Kritischer Gegenstand muss für F2 erst noch verändert werden*). Dies lässt sich am leichtesten an der Büroklammer(nadel)aufgabe illustrieren. Bevor eine Büroklammer zum Aufhängen eines Gegenstandes verwendet werden kann, muss sie erst aufgebogen werden. Es ist sehr einleuchtend, dass die Notwendigkeit einer solchen Manipulation die Schwierigkeit der Umstrukturierung erhöht, da sich die neue Funktion nicht aus dem ursprünglich wahrgenommenen Gegenstand ergibt, sondern erst nach Transformation des Gegenstands offensichtlich wird.

Weitere die Umstrukturierung erschwerende Faktoren, die hier nur kurz genannt werden sollen, sind die fehlende Flexibilität in der Verwendung eines Gegenstandes (Duncker: Der kritische Gegenstand als verschieden verwendbar nicht geläufig), die Fixierung von Funktionen auf bestimmte Gegenstände (Duncker: *F2 nicht als durch verschiedenartige Gegenstände erfüllbar geläufig*) und die Identität des in unterschiedlichen Funktionen verwendeten Gegenstands (Duncker: *Kritischer Gegenstand in F1 und F2 individuell identisch*).

Abschließend wollen wir feststellen, dass die Bedeutung von Duncckers Pionierarbeiten im Bereich des Problemlösens manchmal unterschätzt wird. Vieles spricht dafür, dass er einige der wichtigsten Beiträge zur Psychologie des Problemlösens geleistet hat. Umso tragischer ist es, dass Duncker sich im jungen Alter von 37 Jahren das Leben nahm (King, Cox & Wertheimer, 1998). Wolfgang Köhler schreibt im Vorwort zur posthum erschienenen Ausgabe von Duncckers Monographie (Duncker, 1945):

„In Duncker this was the greatest intellectual virtue: He was forever impatient of little things and happy only when he found a way that led to fundamentals. The best we can do in remembering our friend is to give his work as an example which others may follow.“

2.4 Max Wertheimer: Produktives Denken

Max Wertheimers Monographie „Produktives Denken“ (1945/1959) ist die letzte und vielleicht radikalste Darstellung der gestaltpsychologischen Annahmen zur Denkpsychologie. Im Zentrum dieses Buches steht die Analyse des produktiven Denkens. Damit griff Wertheimer ein Thema wieder auf, das ihn schon in einer frühen Abhandlung „Über Schlussprozesse im produktiven Denken“ (1925) beschäftigt hatte. Insbesondere stellte er sich hier ganz grundsätzlich die Frage, inwieweit produktives Denken über logisches Denken und reine Assoziationen hinausgeht:

„[...] the traditional views have ignored important characteristics of thought processes [...] it seems proper to bring these neglected issues to the fore, to examine the traditional views, to discuss the crucial problems in concrete instances of fine, productive thought, and in doing so, to give the gestalt interpretation of thinking.“ (Wertheimer, 1945/1959, S. 3).

Tatsächlich verdeutlicht die Lektüre von Wertheimers Monographie, dass er den Anspruch vertrat, Theorien des Denkens um einige fundamentale Aspekte zu erweitern. Im Vorwort schreibt er, dass dieses Buch nur eine Art Einleitung zu zwei weiteren Büchern über das produktive Denken darstellen würde. Leider hat er diese Bücher nie geschrieben. In methodischer Hinsicht stellen Wertheimers Arbeiten im Vergleich zu früheren Arbeiten (z.B. denen von Maier und Duncker) eher einen Rückschritt dar, da er sich nicht die Mühe machte, kontrollierte Experimente durchzuführen, sondern sich mit Einzelbeobachtungen, der Analyse historischer Begebenheiten oder Gesprächen mit einem berühmten Wissenschaftler (Einstein) begnügte. Jedoch sind es genau Wertheimers scharfsinnige Analysen dieser Beobachtungen und Gespräche, die dieses Buch so lesenswert machen. Der folgende Überblick geht zunächst auf Wertheimers theoretische Abgrenzung des produktiven Denkens von Ansätzen der klassischen Logik und vom Assoziationismus ein. Danach werden wir Wertheimers Verständnis von Umstrukturierung an einigen einfachen Problemen illustrieren.

2.4.1 Produktives Denken: Mehr als Logik und Assoziationen

In der Einleitung zu seiner Monographie „Produktives Denken“ stellt Wertheimer zunächst klassische Theorien des Denkens dar und charakterisiert die „Denkoperationen“ (Prozesse), die von diesen Theorien angenommen werden. Dabei unterscheidet er grundsätzlich zwischen Logik und Assoziationismus. Innerhalb der Logik unterscheidet er zwischen der traditionellen (aristotelischen) Logik, die sich mit Deduktion beschäftigt und der induktiven Logik, wie sie von John Stuart Mill vertreten wurde. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Wertheimers Charakterisierung dieser Ansätze, anhand der von den jeweiligen Theorien postulierten Denkoperationen.

Tabelle 1: Wertheimers Charakterisierung klassischer Theorien des Denkens. Er unterscheidet zwei große Theorien: Logik und Assoziationismus. Innerhalb der Logik unterscheidet er des weiteren zwischen traditioneller (deduktiver) und induktiver Logik (Wertheimer 1945/1959, S. 6-9).

Traditionelle Logik	Induktive Logik	Assoziationismus
Definition	Empirische Beobachtung	Assoziationen auf der Basis von Wiederholung
Vergleich Unterscheidung	Sammeln von Fakten	Zentrale Rolle der Häufigkeit
Analyse	Anwendung experimenteller Methoden	Abruf vergangener Erfahrungen
Abstraktion Generalisierung	Korrelation von Fakten	Versuch und Irrtum mit zufälligem Erfolg
Ableitung von Klassenkonzepten, Propositionen, Inferenzen, Syllogismen	Entwicklung kritischer Tests für Annahmen	Lernen auf der Basis wiederholten Erfolgs, Handeln nach Gewohnheit

Wertheimer zufolge werden weder die in der Logik noch die im Assoziationismus postulierten Denkoperationen dem eigentlichen Kern des produktiven Denkens gerecht.

An logischen Theorien lobt er die Exaktheit der Vorgehensweise, kritisiert aber die Inhaltsleere der postulierten Prozesse:

„In comparison with actual, sensible, and productive processes, the topics as well as the customary examples of traditional logic often look dull, insipid, lifeless. To be sure, the treatment is rigorous enough, yet often it seems barren, boring, empty, unproductive. If one tries to describe processes of genuine thinking in terms of formal traditional logic, the result is often unsatisfactory: one has, then, a series of correct operations, but the sense of the process and what was vital, forceful, creative in it seems somehow to have evaporated in the formulations. On the other hand it is possible to have a chain of logical operations, each perfectly correct in itself, which does not form a sensible train of thought. Indeed there are people with logical training who in certain situations produce series of correct operations which, viewed as a whole, nevertheless form something akin to a flight of ideas.“ (Wertheimer, 1945/1959, S. 10).

Noch größere Schwierigkeiten sieht Wertheimer beim Assoziationismus, dem er nicht zutraut, eine Trennungslinie zwischen vernünftigem Denken und sinnlosen Rekombinationen von Zufallsprodukten zu ziehen:

„If a problem is solved by recall, by mechanical repetition of what has been drilled, by sheer chance discovery in a succession of blind trials, one would hesitate to call such a process sensible thinking; and it seems doubtful whether the piling up of such factors only, even in large numbers, can lead to an adequate picture of sensible processes. In order to deal somehow with processes which reach new solutions, a number of auxiliary hypotheses were proposed (for instance, Selz's constellation theory, or the concept of habit-family-hierarchy) which, by their very nature, do not seem to give decisive help.“ (Wertheimer, 1945/1959, S. 11).

Aus einer Vielzahl von Beobachtungen leitete Wertheimer zusätzliche Denkopoperationen ab, die spezifisch das produktive Denken charakterisieren. Im Mittelpunkt steht dabei die Annahme, dass sich das produktive Denken vor allem auf die Problemstruktur bezieht. Entscheidend für den Erfolg ist es, die Struktur der Situation richtig wahrzunehmen und Lücken und Spannungen zu entdecken. Dabei reicht es nicht, Elemente und Operationen isoliert zu analysieren, vielmehr müssen diese immer im Bezug auf das Ganze der Situation gesehen werden. Ist das der Fall, dann können strukturelle Verbesserungen der Situation eintreten, die schließlich zum Erfolg führen. In der neueren Literatur zum Problemlösen werden Prozesse, die solche strukturellen Verbesserungen herbeiführen oft zusammenfassend als Umstrukturierungsprozesse bezeichnet (vgl. Ohlsson, 1984a; Sternberg & Davidson, 1995). Für Wertheimer gelten insbesondere folgende

Eigenschaften als für das produktive Denken charakteristisch (Wertheimer, 1945/1959, S. 235-236):

- Produktives Denken besteht im Vorstellen und im Realisieren struktureller Merkmale und Notwendigkeiten;
- Produktives Denken wird von diesen strukturellen Notwendigkeiten bestimmt und nimmt einen entsprechenden Verlauf; es verändert die Situation in Richtung auf strukturelle Verbesserungen;
- Produktives Denken realisiert strukturelle Transponierbarkeit und strukturelle Hierarchie; es separiert periphere Merkmale von fundamentalen Merkmalen der Situation;
- Produktives Denken besteht in der Suche nach struktureller Wahrheit (structural truth) und nicht in der Suche nach stückweiser Wahrheit (piecemeal truth).

Besonderen Wert misst Wertheimer der Veränderung der Situation in Richtung auf strukturelle Verbesserungen bei. Das Zustandekommen solcher struktureller Verbesserungen charakterisiert er folgendermaßen (Wertheimer 1945/1959, S. 235-236):

- Strukturelle Verbesserung kommt durch die Wahrnehmung von Lücken, Problemregionen und Störungen in der Situation zustande;
- Strukturelle Verbesserung umfasst die Suche nach den inneren strukturellen Relationen zwischen Störungen und der gegebenen Situation als Ganzer oder ihren Einzelementen;
- Strukturelle Verbesserung entsteht durch Prozesse der Gruppierung, der Segregation, der Zentrierung und der Reorganisation.

Wertheimer betont, dass die strukturellen Verbesserungen der Problemsituation zu einer neuen Sichtweise, eben zu einer Einsicht führen, die mit einem tieferen Verstehen des Problems verbunden ist. Dieses tiefere Verstehen zeigt sich unter anderem darin, dass Probleme mit ähnlicher Struktur nach einer Einsicht besser gelöst werden können (Wertheimer, 1945/1959, S.13f).

Im Vergleich zu den Konzepten, die in der Logik und der Assoziationstheorie verwendet werden, wirken die Konzepte, die Wertheimer zur Charakterisierung produktiven Denkens benutzt, unpräzise. Interessanterweise meint Wertheimer selbst, dass die von ihm verwendeten Konzepte „schwierig“ seien (Wertheimer, 1945/1959, S. 236). Trotzdem ist er davon überzeugt, dass sie wichtige Fragen für die zukünftige Forschung aufwerfen, die der Klärung bedürfen. Demzufolge sollten die Gesetze identifiziert werden, die den Prozessen der Gruppierung, der Segregation, der Zentrierung und der Reorganisation (also den Umstrukturierungsprozessen) zugrunde liegen. Außerdem sollte weiter untersucht werden, was eine gute Gestalt ausmacht, und welche Operationen die Rolle und Funktion von Teilen im Hinblick auf das Ganze modifizieren können. Tatsächlich ist die neuere Forschung zu Einsicht und Umstrukturierung noch immer mit diesen Fragen beschäftigt (siehe Abschnitt 3.2).

2.4.2 Beispiele für Produktives Denken

Es wurde schon erwähnt, dass Wertheimers Charakterisierung des produktiven Denkens auf einer Vielzahl von Beobachtungen aus unterschiedlichsten Wissensdomänen beruht. Die Spannbreite reicht dabei von der Analyse von Problemlösungen bei geometrischen und arithmetischen Problemen, über Beobachtungen beim Badmintonspiel zweier Kinder, bis hin zur systematischen Analyse der Phasen die zu Einsteins Entdeckung der Relativitätstheorie geführt haben (Wertheimer, 1945/1959). Wir werden nun kurz auf zwei geometrische Probleme und ein arithmetisches Problem eingehen, die Wertheimer

schon in seiner frühen Veröffentlichung „Über Schlussprozesse im produktiven Denken“ zur Illustration von „Umzentrierung“ verwendete (Wertheimer, 1925, S. 176-178). Diese „Klassiker“ stellen noch immer sehr überzeugende Beispiele für Umstrukturierung beim Problemlösen dar.

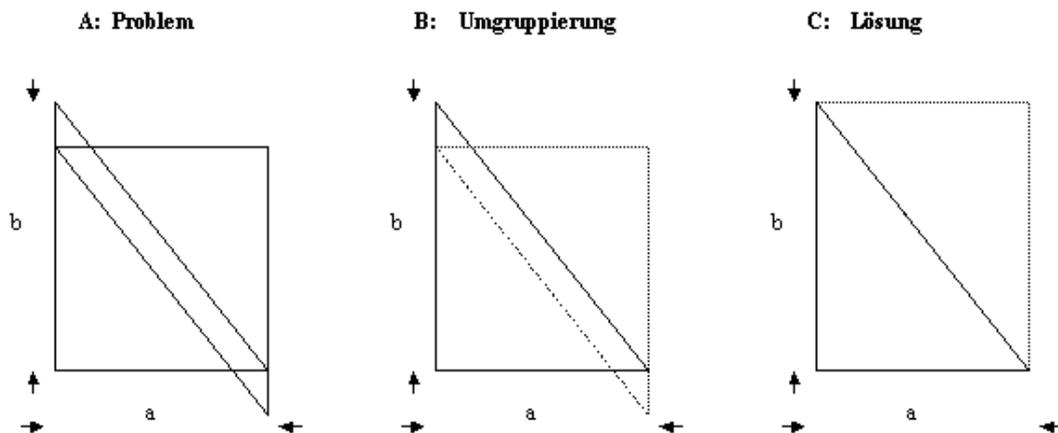


Abbildung 8: In dem links (A) dargestellten Problem soll die Summe der Flächen des Quadrats und des Parallelogramms mit Hilfe von a und b berechnet werden. Der mittlere Teil der Abbildung (B) skizziert die Umstrukturierung in zwei rechtwinklige Dreiecke. Teil C zeigt die Lösung: die Fläche ergibt sich als $a * b$.

Bei dem in Abbildung 8, Teil A dargestellten Problem soll die Summe der beiden Flächen berechnet werden. Gegeben sind die Längen a und b . Zunächst nimmt der Problemlöser ein Quadrat mit der Seitenlänge a und ein darüber liegendes Parallelogramm wahr. Solange man das Problem in dieser Weise betrachtet, kann man zwar sehr einfach die Fläche des Quadrates angeben (a zum Quadrat), aber es ist unmöglich, die Fläche des Parallelogramms zu berechnen. Allerdings gibt es eine andere Sichtweise, die ein vollkommen neues Licht auf die Gesamtstruktur der Situation wirft und die Gruppierung der Problemelemente radikal verändert: Die Elemente der Aufgabenvorlage können nämlich auch zu zwei rechtwinkligen Dreiecken gruppiert werden, die sich teilweise überlappen (Abb: 8, Teil B). Sobald die Situation in dieser Weise betrachtet wird, ergibt

sich ein vollkommen neuer Lösungsansatz: Die beiden Dreiecke bilden nämlich zusammen ein Rechteck mit der Fläche $a*b$ (Abb: 8, Teil C).

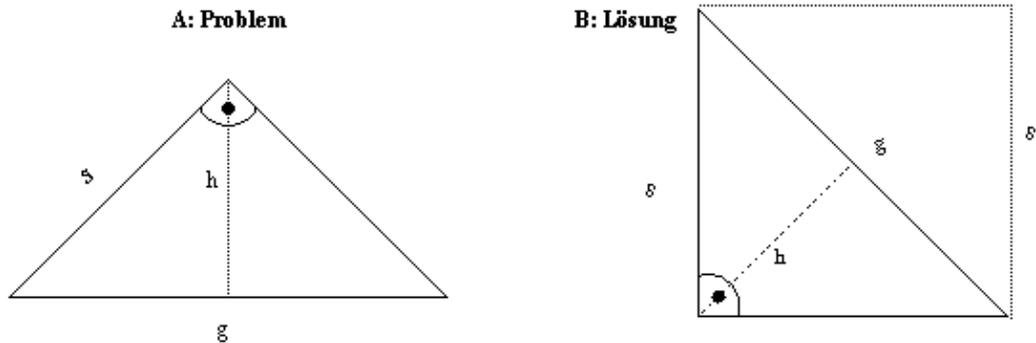


Abbildung 9: In dem links dargestellten Problem (A) soll die Fläche des Dreiecks berechnet werden. Kippt man das Dreieck (B), fällt sofort auf, dass das Dreieck als ein halbes Quadrat betrachtet werden kann. Die Fläche ist also $s^2/2$.

Eine ähnliche Vereinfachung der Lösung lässt sich bei dem in Abbildung 9, Teil A gezeigten Problem erreichen. Für das gleichschenklige Dreieck ist die Schenkellänge s gegeben und der Winkel an der Spitze (dieser Winkel ist 90°). Zunächst nimmt man die Figur als isoliertes Dreieck wahr. Dies legt Lösungsversuche nahe, in denen man g und h berechnet, um die Dreiecksformel ($g*h/2$) anwenden zu können. Aber auch hier gibt es eine vollkommen andere Sichtweise, die die Beziehung der Einzelemente zur Gesamtstruktur in einem vollkommen neuen Licht erscheinen lässt. Kippt man das Dreieck, so dass es auf der Seite s zu stehen kommt, wird sofort deutlich, dass es sich dabei um ein halbes Quadrat handelt (Abb. 9, Teil B). Sobald man das bemerkt hat, ist die Lösung sehr einfach. Nun muss man nur s quadrieren, um die Fläche des Quadrats zu bestimmen und dann durch zwei teilen ($s^2/2$), um die Fläche des Dreiecks zu ermitteln.

Wertheimers Konzept der strukturellen Verbesserung lässt sich nicht nur auf geometrische Probleme anwenden, bei denen konkrete räumliche Relationen zwischen den Problemelemente bestehen, sondern auch auf arithmetische Probleme. Ein schönes Beispiel ist die Anekdote „vom jungen Gauss in der Volksschule“. Wertheimer stellt die Anekdote folgendermaßen dar (Wertheimer, 1925, S. 178; Wertheimer, 1945/1959, S. 109):

„Der Lehrer fragte die Buben: Wer von euch kann am schnellsten hinschreiben, was $1+2+3+4+5+6+7+8$ addiert zusammen ausmachen? Der kleine Gauss hebt ganz bald die Hand („Ligget sel!"). Befragt, wie er's denn so schnell herausgebracht hätte, sagt er zum Erstaunen des Lehrers: „Ja Herr Lehrer, wenn ich hätte eins nach dem anderen zusammenzählen sollen, wie Sie gesagt haben, *eins und zwei* und dann *und drei* und dann *und vier* ..., da hätt's lang gedauert. Aber es ist doch *eins und acht* neun, und *zwei und sieben* wieder neun, und *drei und sechs* muss wieder neun sein [...]"

Damit hatte Gauss einen wichtigen Satz über arithmetische Reihen entdeckt. Auch diese Einsicht kann gut durch eine strukturelle Verbesserung erklärt werden, die durch eine radikale Reorganisation der Problemelemente zustande kam. Dies ist in Abbildung 10 illustriert. Während alle anderen Schüler von links nach rechts sequentiell durch die Reihe gingen, entdeckte Gauss, dass sich die Reihe in zwei Hälften zerlegen ließ und dass die Addition spiegelsymmetrischer Elemente immer zum gleichen Ergebnis führte. Besonders für lange Zahlenreihen ist diese Methode natürlich viel effektiver als die serielle Addition von Zahlen (allgemein ergibt sich $n+1*(n/2)$, solange die Anzahl der addierten Elemente gerade ist).

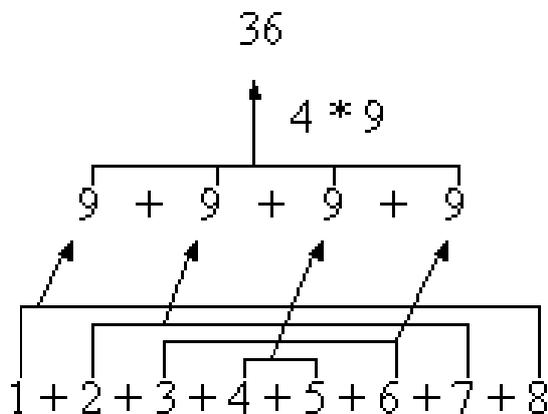


Abbildung 10: Diese Abbildung illustriert die Einsicht des jungen Gauss. Anstatt die Elemente der Reihe sequentiell zu addieren, bemerkte er, dass die Addition spiegelsymmetrischer Elemente immer dieselbe Summe ergibt.

Wertheimer (1945/1959) führt noch viele andere faszinierende Beispiele an, die seine Auffassung von produktivem Denken illustrieren. Beim Lesen dieser Beispiele kann man sich kaum des Eindrucks erwehren, dass produktives Denken tatsächlich mehr ist als reine Logik oder bloße Assoziationen. Die aktuelle Forschung zu Einsicht und Umstrukturierung operiert oft mit einer Kombination beider Ansätze. Es ist fraglich, ob Wertheimer solche „hybriden“ Modelle akzeptiert hätte. Jedenfalls mahnen die Werke Wertheimers auch heute noch dazu, bei aller notwendigen Sorgfalt bei der Planung von psychologischen Experimenten, das eigentliche Phänomen nicht aus dem Auge zu verlieren.

2.5 Quintessenz gestaltpsychologischer Problemlöseforschung

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die wichtigsten Arbeiten der Gestaltpsychologen zu Einsicht und Umstrukturierung ausführlich dargestellt wurden, sollen an dieser Stelle noch einmal die wichtigsten gestaltpsychologischen Annahmen zum Problemlösen

zusammengefasst werden. Diese Zusammenfassung orientiert sich an einer Liste, die Ohlsson (1984a, vgl. auch Dominowski & Dallob, 1995) aus den gestaltpsychologischen Arbeiten zur Denkpsychologie (Duncker, 1926, 1935; Köhler, 1921; Wertheimer, 1925, 1959) herausdestilliert hat.

Die Kernannahme der gestaltpsychologischen Denkforschung besteht darin, dass Umstrukturierung (oder Umzentrierung) der essentielle Denkprozess ist, der dem produktiven Denken zugrunde liegt. Umstrukturierung führt zur Einsicht in die Problemstruktur und ermöglicht damit ein „tieferes Verstehen“ des Problems. Während Köhler (1921) und Wertheimer (1959) ihr Hauptaugenmerk auf Umstrukturierung und Einsicht legten, betonte Duncker zusätzlich den sequentiellen Charakter des Problemlösens, also das schrittweise Überbrücken der Kluft, die zwischen einer gegebenen Situation und einem angestrebten Ziel besteht. Damit legte er wichtige Fundamente für die Problemraumtheorie, die immer noch den zentralen Bezugspunkt der kognitionswissenschaftlichen Problemlöseforschung darstellt (siehe 3.1).

In den gestaltpsychologischen Ansätzen zum Problemlösen nimmt die Problemsituation einen wichtigen Stellenwert ein. Dabei wird vor allem betont, dass der Problemlöser die Problemsituation in ihrer Ganzheit und nicht in ihren Einzelkomponenten wahrnimmt. Demzufolge ist jede Situation durch Strukturen gekennzeichnet, die sich als unterschiedliche Typen von Relationen zwischen Einzelelementen auffassen lassen (Figur-Grund, Zentrum-Peripherie, Teil-Ganzes). Diese Strukturen charakterisieren die Gesamtsituation und können nicht auf Teile der Situation reduziert werden.

Die Strukturen in einer Problemsituation können Kräften unterschiedlicher Stärke ausgesetzt werden. Eine Situation wird als gespannt bezeichnet, wenn die in ihr wirkenden Kräfte unbalanciert sind. Umstrukturierung ist der Prozess, der die strukturellen Relationen in einer Situation verändert. Durch eine Umstrukturierung ändert sich die Interaktion unterschiedlicher Kräfte; insbesondere kann durch Umstrukturierung ein

Gleichgewicht der Kräfte hergestellt werden. Umstrukturierungen im Problemlöseprozess sind eng mit dem Kippen von Wahrnehmungseindrücken verwandt (siehe Abbildung 8). Ähnlich wie beim Kippen eines Wahrnehmungseindrucks wird die ganze Problemsituation neu wahrgenommen. Dabei werden nicht etwa einzelne Teile der Situation oder einzelne Relationen verändert, sondern vielmehr verändern sich die Relationen zwischen den Einzelementen radikal (Duncker geht aber davon aus, dass sich manchmal auch nur Teilaspekte einer Situation verändern).

Insbesondere Wertheimer (1959) betont, dass Umstrukturierung immer zu einem besseren Gleichgewicht der Kräfte in einer Situation führt. Demzufolge sollten Umstrukturierungen unweigerlich auf eine Lösung hinführen. Das impliziert jedoch nicht, dass jede Umstrukturierung zwangsläufig zur Lösung eines Problems führt. Es sind oft mehrere Umstrukturierungen notwendig, um alle bestehenden Lücken in einer Situation zu schließen. Allerdings verbessert jede Umstrukturierung das Gleichgewicht der Situation.

Eine weitere Annahme ist, dass Umstrukturierungen umso wahrscheinlicher werden, je tiefer Problemlöser die gegebene Situation analysiert haben. Erst durch diese Analyse werden Spannungen, Konflikte und Lücken klar. Um zu einer neuen Struktur gelangen zu können, muss die bestehende Struktur zunächst wahrgenommen und verstanden werden. Eine Analyse von Einzelementen der Situation führt dagegen nicht zur Umstrukturierung, weil Spannungen und Lücken in den Relationen zwischen den Elementen durch diese Betrachtungsweise nicht klar werden.

Schließlich sind Umstrukturierungen auch mit bestimmten Erlebensqualitäten verbunden. Insbesondere werden sie subjektiv als überraschend erlebt: Man führt sie nicht herbei, sondern sie geschehen einfach („sie stoßen einem zu“). Sie sind meist mit einem Aha-Erlebnis und einem Gefühl der Plötzlichkeit, der Überraschung, des Fortschritts und der Offensichtlichkeit verbunden. Man fragt sich hinterher, wieso man die Lösung nicht

gleich gesehen hat. Umstrukturierungen und die damit verbundenen Einsichten haben außerdem einen aktivierenden Effekt auf die Problemlösung und führen zu positiven Emotionen.

Viele der hier formulierten Annahmen tauchen in neueren kognitionspsychologischen Modellen von Einsicht und Umstrukturierung wieder auf und werden dort weiter spezifiziert. Der nächste Abschnitt behandelt diese Modelle und neuere empirische Befunde der kognitionspsychologischen Einsichtsforschung.

3. Einsicht und Umstrukturierung in der kognitiven Psychologie

Ungefähr 30 Jahre nach dem Beginn der kognitiven Revolution in der Psychologie kam Michael Wertheimer (1985), der Sohn Max Wertheimers, zu einem sehr ernüchternden Urteil über den Beitrag der kognitiven Psychologie zum Verständnis von Einsicht und Umstrukturierung:

„[...] does modern cognitive psychology do justice to the Gestalt problem of insight? [...] from the perspective of Max Wertheimer's book *Productive Thinking*, the answer is an unequivocal no [...] It is not that the modern information-processing approaches are wrong as such; they simply do not speak to the issue of insight. They have bypassed it completely. So the basic Gestalt problem remains as unsolved – and as crucial – as it was before cognitive psychology [...] came on the scene.“ (Wertheimer, 1985, S. 31).

Tatsächlich wurde zunächst den gestaltpsychologischen Konzepten und Untersuchungen in kognitiven Theorien und Modellen des Denkens kein zentraler Stellenwert eingeräumt. In einer frühen Informationsverarbeitungstheorie des Problemlösens verwendeten Newell, Shaw und Simon (1958) den Begriff Einsicht für eine Serie von Inferenzen, die beim schrittweisen Problemlösen zum Erfolg führen. Dies ist überraschend, weil Wertheimer (1945/1959) mit dem Begriff Einsicht ja genau diejenigen Aspekte des menschlichen Denkens bezeichnen wollte, die über formales logisches Schließen hinausgehen (siehe Abschnitt 2.4).

Durch die anfänglich Fokussierung auf die schrittweise Lösung von Problemen wurde die Untersuchung spezifischer Einsichtsphänomene beim Problemlösen in der kognitionspsychologischen Forschung für lange Zeit eher vernachlässigt. Einige gingen sogar soweit zu behaupten, dass Konzepte wie Einsicht und Umstrukturierung in wissenschaftlichen Theorien nichts zu suchen hätten. Insbesondere Weisberg & Alba, (1981; siehe auch Perkins, 1981) vertrat diesen Standpunkt, der in der Literatur oft als „nothing-special“-Ansatz bezeichnet wird (Davidson, 1995, 2003). Weisberg zufolge sind die Einsichtsprobleme der Gestaltpsychologen einfach deswegen schwer zu lösen, weil die Problemlöser kein ausreichendes Vorwissen über diese Probleme haben.

Weisberg führte zur Unterstützung dieser Auffassung vor allem die Ergebnisse einer Reihe von Experimenten mit dem Neun-Punkte-Problem an (Weisberg & Alba, 1981). Bei diesem klassischen Problem besteht die Aufgabe darin, die neun Punkte durch vier gerade Linien zu verbinden, ohne dabei den Stift abzuheben. Lange wurde davon ausgegangen, dass die Hauptschwierigkeit bei diesem Problem darin besteht, über das durch die neun Punkte gebildete, virtuelle Quadrat hinaus zu zeichnen (Scheerer, 1963; siehe auch Abbildung 15). Falls dies zutrifft, sollte das Problem einfacher werden, wenn man Problemlösern mitteilt, dass sie über das Quadrat hinaus zeichnen müssen, um zu einer Lösung zu gelangen.

Weisberg und Alba prüften diese Hypothese und fanden, dass Problemlöser, die diesen Hinweis erhielten, genauso erfolglos waren wie Problemlöser, die keinen Hinweis erhielten (jeweils 20% der Versuchspersonen lösten das Problem in der vorgegebenen Zeit). Der einzige wirksame Lösungshinweis war die Vorgabe eines Teils der Lösung (eine oder mehrere Linien). Aus der fehlenden Wirksamkeit des Hinweises, der zum Überschreiten des virtuellen Quadrats aufforderte, wurden dann weitreichende Schlussfolgerungen gezogen. Dies ist verwunderlich, weil es sich bei diesem Ergebnis eigentlich um einen Nulleffekt handelte: Die fehlende Wirksamkeit eines Lösungshinweises kann viele unterschiedliche Gründe haben. Entsprechend ergaben sich in nachfolgenden Experimenten auch abweichende Ergebnisse (z.B. Lung & Dominowski, 1985), die darauf hindeuten, dass beim Neun-Punkte-Problem eine Vielzahl unterschiedlicher Schwierigkeitsquellen wirksam sind, die alle überwunden werden müssen, um das Problem schließlich zu lösen (Kershaw & Ohlsson, 2004). Trotzdem war Weisbergs Ablehnung der gestaltpsychologischen Konzepte lange Zeit sehr einflussreich.

Inzwischen überwiegt bei den meisten kognitiven Psychologen wieder die Ansicht, dass zur Erklärung von Einsicht und Umstrukturierung spezifische kognitive Prozesse postuliert werden müssen. Es sind inzwischen einige vielversprechende kognitive Modelle

entwickelt worden, die Einsichtsphänomene erklären können. Besonders erfreulich ist, dass gerade in letzter Zeit eine Reihe experimenteller Studien durchgeführt wurden, um alternative Vorhersagen dieser Modelle zu überprüfen (z.B. Jones, 2003). Bevor wir die wichtigsten kognitiven Modelle der Einsicht behandeln, wollen wir zunächst einige Grundelemente der Problemraumtheorie einführen, die für das Verständnis dieser Modelle notwendig sind.

3.1 Elemente der Problemraumtheorie

Die Problemraumtheorie von Newell und Simon (1972) ist noch immer zentraler Bezugspunkt der kognitiven Problemlöseforschung. Newell und Simon begannen schon in den 1950er Jahren, Computermodelle kognitiver Prozesse zu entwickeln. Sie leiteten damit eine Abwendung von der Untersuchung von Reiz-Reaktions-Zusammenhängen (Behaviorismus) und eine Hinwendung zur Untersuchung kognitiver, also nicht beobachtbarer mentaler Prozesse, ein („kognitive Revolution“, Mayer, 1992). In ihrem Buch „Human Problem Solving“ (Newell & Simon, 1972) entwickelten sie ein theoretisches Bezugssystem, das Problemlösen als Informationsverarbeitung konzeptualisiert (Funke, 2003). Damit wollten sie nicht nur die am menschlichen Problemlösen beteiligten Prozesse identifizieren, sondern auch ein generelles Problemlösemodell entwickeln, das Computer befähigte, Probleme unterschiedlichster Art zu lösen („künstliche Intelligenz“). Die Annahmen der Problemraumtheorie haben bis heute ihre Gültigkeit behalten und befruchten nach wie vor die Problemlöseforschung maßgeblich und nachdrücklich (siehe auch Anderson, 1995; Funke, 2003; Knoblich, 2002; Mayer, 1992; Schmid, 2002). Die derzeit wichtigsten kognitiven Theorien der Einsicht stellen Erweiterungen der Problemraumtheorie dar. Deshalb wollen wir kurz auf einige wesentliche Aspekte der Problemraumtheorie eingehen, die für das Verständnis kognitiver Theorien der Einsicht wichtig sind.

3.1.1 Grundannahmen

Die Problemraumtheorie geht davon aus, dass Problemlösen sich als *Suche in einem Problemraum* auffassen lässt. Zunächst wird aus der Beschreibung des Problems, der Instruktion und der Aufgabenvorlage eine interne Repräsentation des Problems generiert (Ernst & Newell, 1969). Diese Repräsentation enthält den gegebenen Ausgangszustand, den gewünschten Zielzustand und eine Menge mentaler Operatoren. Durch die Anwendung von Operatoren kann der gegebene Ausgangszustand über eine variable Zahl von Zwischenzuständen so lange transformiert werden, bis der gewünschte Zielzustand erreicht ist.

Operatoren können entweder eine physische oder eine mentale Veränderung produzieren (Mayer, 1992) und sie können nur auf Zustände angewendet werden, die bestimmte Bedingungen erfüllen. Mentale Operatoren sind als internes Suchen oder Navigieren im Problemraum zu verstehen. Dieses Navigieren kann auch als Probehandeln verstanden werden, bei dem alternative Züge mental simuliert werden, und wird auch *mentale Vorausschau* (mental look-ahead) genannt. Der Suchvorgang im Problemraum lässt sich zusammenfassend so beschreiben: Ein Problem kann gelöst werden, indem schrittweise durch einen Raum von alternativen Zuständen gegangen wird, bis eine Sequenz von Schritten (Operatoren) gefunden wird, die vom Problem zur Lösung führt (Ohlsson, 1984a, S. 65). Die Schwierigkeit eines Problems wird demnach dadurch bestimmt, wie viele Schritte benötigt werden, um ein Ziel zu erreichen.

Zentral ist auch das Konzept des *Problemraums*. Er umfasst die Gesamtheit aller Zustände, die sich aus der Anwendung aller anwendbaren Operatoren auf jeden möglichen Zustand ergeben (nicht etwa nur diejenigen Zustände, die der Problemlöser bei der Problemlösung antrifft). Der Problemraum ist damit ein theoretischer Möglichkeitsraum, der die Gesamtheit aller Zustände umfasst, die bei der Lösung eines Problems auftreten können. Der Problemraum für ein bestimmtes Problem lässt sich

durch eine formale *Aufgabenanalyse* oder *Problemanalyse* ermitteln. Sobald man eine Aufgabenanalyse durchgeführt hat, kann man jede denkbare Problemlösung als Pfad im Problemraum darstellen.

Abbildung 11 verdeutlicht anhand eines überschaubaren Beispiels das Grundprinzip eines Problemraums. Es handelt sich hierbei um eine sehr einfache Variante des Turms von Hanoi. Bei diesem Problem besteht das Ziel darin, die Scheiben von Stift A auf Stift C zu bewegen, wobei niemals eine größere auf einer kleineren Scheibe zu liegen kommen darf. Wie sich zeigt, gibt es einen direkten Weg und einige Umwege, die letztlich auch zum Ziel führen. Vergrößert man die Anzahl der Scheiben, so explodieren die Möglichkeiten: bei 5 Scheiben ergeben sich schon 243 mögliche Zustände, bei 8 Scheiben ergeben sich 6561 mögliche Zustände.

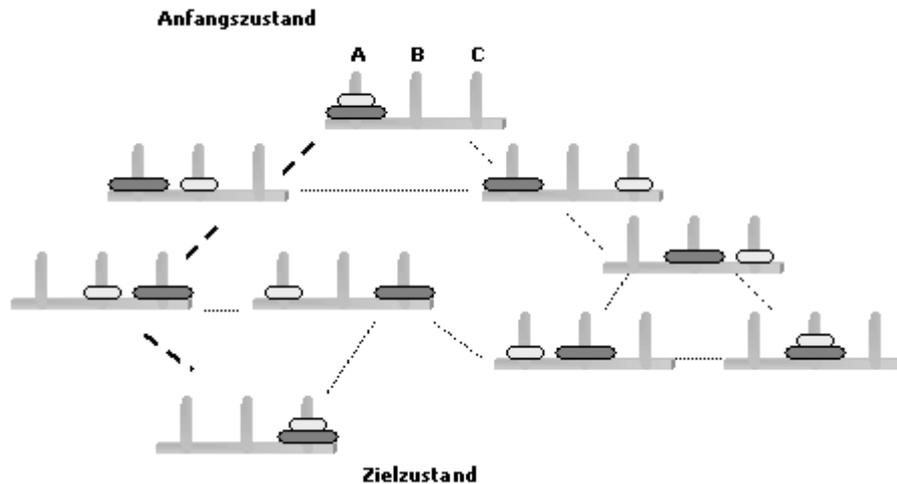


Abbildung 11: Problemraum des Turms von Hanoi mit zwei Scheiben und den drei Stiften A, B und C. Die gestrichelte Linie gibt den direkten Weg zum Ziel an. Die gepunkteten Linien zeigen an, welche Zustände vom jeweils aktuellen Zustand aus erreichbar sind.

Eine weitere zentrale Annahme der Problemraumtheorie von Newell und Simon ist, dass Menschen nicht zufällig den Problemraum durchsuchen, sondern *allgemeine Heuristiken* (Daumenregeln) benutzen, um die Zahl möglicher Lösungspfade einzuschränken (Lindsay & Norman, 1981, S. 417). Damit lassen sich Zustände vermeiden, die wahrscheinlich nicht zur Lösung führen. Die Anwendung von Heuristiken verkleinert also den Problemraum und kann den Suchaufwand und damit die Schwierigkeit eines Problems ganz erheblich reduzieren. Deswegen wird Problemlösen oft auch als heuristische Suche im Problemraum bezeichnet. Heuristiken sind also Strategien oder Methoden, mit der die Anzahl von Zuständen, die im Problemraum abgesucht werden müssen, eingeschränkt werden kann. Im Laufe der Zeit sind unterschiedliche Heuristiken beschrieben worden. Die wichtigsten beiden Heuristiken wollen wir nachfolgend etwas genauer beschreiben: Die Methode der Unterschiedsreduktion und die Mittel-Ziel-Analyse (siehe auch die nachfolgende Beschreibung der Dynamic Constraint Theorie der Einsicht, Abschnitt 3.2.3).

3.1.2 Methode der Unterschiedsreduktion

Die *Methode der Unterschiedsreduktion (hill climbing)* besteht darin, immer den mentalen Operator anzuwenden, der den aktuellen Zustand in einen Zustand überführt, der dem Ziel möglichst ähnlich ist. Um diese Methode nutzen zu können, muss ein Ähnlichkeitsmaß zwischen beliebigen Zuständen im Problemraum und dem Zielzustand definiert werden. Für das Turm von Hanoi Problem in Abbildung 11 könnte dies die Anzahl der Scheiben auf Stift C sein. Dies würde implizieren, dass immer Operatoren ausgewählt werden, die Scheiben auf den Zielstift C setzen. An diesem Beispiel wird auch sofort ein Problem der Methode der Unterschiedsreduktion deutlich, die sog. Existenz von lokalen Maxima. Nach dem ersten Zug ist die kleine Scheibe zwar auf dem Zielstift. Es ist also ein Zustand erreicht worden, der dem Zielzustand prinzipiell ähnlicher ist als der Ausgangszustand. Diese Operation verhindert aber, dass im nächsten Schritt die große Scheibe auf den Zielstift gesetzt werden kann. Das lokale Maximum verzögert somit den weiteren Fortschritt des Problemlöseprozesses. Liegen keine lokalen Maxima vor, ist die Methode dagegen sehr effektiv und dem reinen Ausprobieren (trial and error) weit überlegen.

3.1.3 Mittel-Ziel-Analyse

Eine weitere zentrale Annahme der Problemraumtheorie betrifft die Bildung von *Teilzielen*. Die Bildung von Teilzielen hilft dem Problemlöser, das Problem zu strukturieren. Das kann die Problemlösung deutlich vereinfachen, falls adäquate Teilziele gebildet werden. Die bekannteste Heuristik, die Teilzielbildung verwendet, ist die von Newell und Simon (1972) vorgeschlagene *Mittel-Ziel-Analyse (means-end-analysis)*. Wie Funke (2003) bemerkt, findet sie sich in vielen Teilbereichen der Psychologie wieder, z.B. in motivationspsychologischen Erwartungs-Mal-Wertmodellen oder auch in Planungstheorien. Sie korrespondiert am ehesten mit der Vorstellung menschlichen

Problemlöseverhaltens und wird häufig in computerbasierten Systemen eingesetzt (Anderson & Lebiere, 1998).

Die Mittel-Ziel-Analyse besteht aus drei aufeinander folgenden Schritten, die angeben, wie ein Ziel zu erreichen ist und welche Teilziele dazu abgearbeitet werden müssen. Im ersten Schritt wird die Differenz zwischen aktuellem Zustand und Zielzustand festgestellt. Im zweiten Schritt wird ein Teilziel gebildet, dessen Erreichen die Differenz zwischen aktuellem Zustand und Zielzustand reduziert. Im dritten Schritt wird der mentale Operator angewandt, der zum Erreichen des Teilziels führt.

Dies soll wiederum anhand des Turms von Hanoi Problems (Abbildung 11) kurz illustriert werden. Das übergeordnete Ziel ist hier, die Scheiben von Stift A auf Stift C zu legen. Um dies zu erreichen, muss zunächst die große Scheibe von Stift A auf Stift C bewegt werden, ein entsprechendes Teilziel wird gebildet. Um die große Scheibe bewegen zu können, muss die kleine zunächst entfernt werden, wiederum wird ein entsprechendes Teilziel gebildet. Dieses Teilziel kann nun direkt durch die Anwendung eines Operators realisiert werden (Bewege die kleine Scheibe von A auf B).

Bei der Mittel-Ziel-Analyse werden immer solange neue Teilziele erzeugt, bis das aktuelle Teilziel direkt durch Anwendung eines verfügbaren Operators erfüllt werden kann. Die einzelnen Ziele werden in einem sog. Stapelspeicher (goal stack) abgelegt, wobei zunächst das Gesamtziel im Speicher platziert wird. Jedes neue Teilziel wird einfach darüber gelegt (gestapelt). Wenn ein Teilziel abgearbeitet ist, wird es aus dem Stapelspeicher entfernt und das darunter liegende Teilziel wird aktiv. Natürlich kann die Erledigung dieses Teilziels wiederum die Bildung neuer Teilziele erfordern. Der Prozess wird solange fortgesetzt, bis das Gesamtziel aus dem Stapelspeicher entfernt werden kann. Damit ist der Problemlöseprozess beendet, das Gesamtziel ist erfüllt und das Problem ist gelöst. Im Prinzip kann die Mittel-Ziel-Analyse auch als Distanzreduktionsmethode verstanden werden, die jeweils testet, ob der aktuelle Zustand und der Zielzustand schon

übereinstimmen. Ist dem nicht so, dann ist ein Operator zu finden und anzuwenden, der diese Differenz reduzieren kann.

Ein Problem, das sich bei der Mittel-Ziel-Analyse ergeben kann, ist die Unzahl von Teilzielen, die bei umfangreicheren Problemen gespeichert und abgearbeitet werden müssen. Dies ist psychologisch nicht unbedingt plausibel. Darüber hinaus ist es unwahrscheinlich, dass Teilziele immer voneinander unabhängig sind. Diese Annahme ist jedoch eine notwendige Voraussetzung für Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse (siehe Schmid, 2002; Sussman-Anomalie, S. 717).

3.2 Erweiterungen der Problemraumtheorie zur Erklärung von Umstrukturierung und Einsicht

Nachdem nun die wichtigsten Grundlagen der Problemraumtheorie eingeführt wurden, können wir zur Behandlung von drei wichtigen kognitiven Theorien der Einsicht fortschreiten. Alle drei Theorien bauen auf der Problemraumtheorie auf. Allerdings machen sie unterschiedliche Zusatzannahmen zur Problemraumtheorie, um Einsichtsphänomene zu erklären. Diese Veränderungen wurden nötig, weil die Problemraumtheorie in ihrer ursprünglichen Form Einsichtsphänomene nicht erklären kann. Plötzliche Lösungsideen sind nicht vorgesehen. Wenn Problemlösen nur darin bestünde, den Problemraum Schritt für Schritt in möglichst günstiger Weise abzusuchen, dann stünde weder zu erwarten, dass Problemlöser an bestimmten Stellen einfach nicht mehr weiter wissen, noch, dass die Lösung aus heiterem Himmel erfolgt. Außerdem kann nicht erklärt werden, wieso manche Probleme, bei denen der Problemraum sehr klein ist (wenige Möglichkeiten zulässt), extrem schwierig zu lösen sind.

Ein erster Erweiterungsvorschlag ist die Theorie repräsentationaler Veränderung von Ohlsson (1984b; 1992). Er nimmt an, dass Einsicht dann auftritt, wenn unbewusste Prozesse zu einer Veränderung einer unangemessenen Problemrepräsentation führen.

Kaplan und Simon (1990) schlagen eine Variante der Theorie repräsentationaler Veränderung vor, in der Einsicht durch die bewusste Erweiterung einer unvollständigen Problemrepräsentation zustande kommt. Schließlich postuliert die Theorie dynamischer Einschränkungen von MacGregor, Ormerod und Chronicle (2001), dass Einsicht dadurch zustande kommt, dass Problemlöser aufhören, Strategien oder Heuristiken zu benutzen, die sie von der Lösung des Problems abhalten.

3.2.1 Veränderung unangemessener Problemrepräsentationen nach dem Antreffen von Sackgassen (RV-Theorie)

Ohlsson (1984b; 1992) schlug als erster vor, die Problemraumtheorie zu ergänzen, um Einsichtsphänomene zu erklären. In seiner Theorie repräsentationaler Veränderung (1992; vgl. auch Knoblich, Ohlsson et al., 1999), die nachfolgend als RV-Theorie bezeichnet wird, konzeptualisiert er Einsicht als das Ausbrechen aus einer Sackgasse (impasse), die Problemlöser antreffen, während sie versuchen, ein Problem zu lösen. Mit einer Sackgasse ist dabei ein Zustand gemeint, in dem Problemlöser nicht mehr in der Lage sind, neue Lösungsideen zu generieren, um ein Problem zu lösen. Diese Auffassung von Einsicht unterscheidet sich in einigen Punkten von der traditionellen Auffassung der Gestaltpsychologie, wo unter Einsicht meist das *plötzliche* Auftreten einer *korrekten* und *vollständigen* Lösung im Bewusstsein verstanden wurde (Ohlsson, 1984a).

So schließt Ohlsson nicht aus, dass es zu „falschen Einsichten“ kommen kann. Darunter versteht er plötzliche Lösungsideen, die letztendlich doch keine Lösung des Problems erlauben. Dagegen legt die gestaltpsychologische Annahme, dass jede Einsicht zu einem besseren Gleichgewicht der Kräfte in einer Problemsituation führt, nahe, dass es keine falschen Einsichten gibt. Auch das Kriterium der *Vollständigkeit* der Lösung ist nach Ohlsson (1992) keine notwendige Voraussetzung für das Vorliegen von Einsicht (man beachte aber, dass auch Duncker, 1935 und Koffka, 1935 nicht von Vollständigkeit

ausgehen). Bei komplexen Problemen kann es durchaus möglich sein, dass eine ganze Reihe von Einsichten notwendig sind, um eine Lösung des Problems zu erreichen. Schließlich relativiert Ohlsson (1992) auch das Kriterium der Plötzlichkeit: Demzufolge bedeutet das Ausbrechen aus einer Sackgasse nicht notwendigerweise, dass ein Problem sofort gelöst werden kann, weil oft noch weitere Problemlöseschritte ausgeführt werden müssen, um das Problem vollständig zu lösen (vgl. auch Kershaw & Ohlsson, 2004). Der Terminologie von Koffka (1935) folgend, bezeichnet Ohlsson (1992) solche Einsichten als *partielle* Einsichten. Dagegen ist für *volle* Einsichten das Kriterium der Plötzlichkeit erfüllt, weil die Einsicht zur sofortigen Lösung des Problems führt.

Ohlsson (1992) spezifiziert in der RV-Theorie weitere Prozessannahmen, die erklären können, wieso Sackgassen angetroffen werden, und wie Problemlöser aus Sackgassen entkommen können. Die erste Annahme ist, dass bei der anfänglichen Enkodierung des Problems eine selektive *Problemrepräsentation* gebildet wird, die durch die Vorerfahrung mit ähnlichen Problemen gefärbt ist. Die Problemsituation und die Instruktion aktivieren implizit bestehendes Vorwissen (z.B. Konzepte, Fakten, Strategien, Operatoren), das für die Lösung des Problems nützlich sein könnte. Entsprechend wird der anfängliche Problemraum durch das aktivierte Vorwissen eingeschränkt. Das impliziert auch, dass nur Problemlöseoperatoren zur Verfügung stehen, die auf diese selektive Problemrepräsentation anwendbar sind. Daher ist es möglich, dass die ursprüngliche Repräsentation gar keine Lösung zulässt und Problemlöser geraten in eine Sackgasse. In der Sackgasse können keine neuen Lösungsansätze mehr generiert werden, die das Problem dem gewünschten Zielzustand näher bringen. Subjektiv ruft dieser Zustand Frustration hervor und ist mit dem Gefühl verbunden, dass eine Lösung des Problems nicht möglich ist.

Die zweite wichtige Annahme in der RV-Theorie ist, dass Problemlöser nur dann aus Sackgassen ausbrechen können, wenn die ursprüngliche Repräsentation des Problems

verändert wird. Veränderungen der Problemrepräsentation können durch unterschiedliche unbewusste Prozesse herbeigeführt werden, die entweder die Repräsentation des Ziels der Problemlösung verändern oder die Repräsentation der Elemente in der Problemsituation. Solche Veränderungen können zur Aktivierung neuer Problemlöseoperatoren führen, d.h., der Problemlöser sucht nun in einem veränderten oder erweiterten Raum möglicher Lösungen. Wenn der Lösungspfad in der neuen Problemrepräsentation sehr einfach ist, folgt eine schnelle und unverzögerte Lösung des Problems, begleitet von einem Aha-Erlebnis (volle Einsicht). Wenn der Lösungspfad komplizierter ist, z.B. wenn die Veränderung eine große Anzahl neuer Möglichkeiten generiert, dann wird die schrittweise Lösung des Problems fortgesetzt (partielle Einsicht). Wie Kershaw und Ohlsson (2004) kürzlich zeigen konnten, sind beispielsweise beim Neun-Punkte-Problem immer noch eine Vielzahl anderer Schwierigkeitsquellen zu überwinden (z.B. sich aus der Figur zu bewegen, die spezielle Anordnung und die Form der Züge usw.), bis letztlich das Ziel erreicht werden kann. Die repräsentationale Veränderung ist also eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung, um ein Einsichtsproblem zu lösen.

Folgt man Ohlssons Annahmen, so muss nicht nur erklärt werden, welche Prozesse zur Veränderung einer Problemrepräsentation führen, sondern es müssen auch Gründe dafür angegeben werden, warum Problemlöser Sackgassen antreffen, also Gründe dafür, warum die ursprüngliche Enkodierung des Problems nicht zur Lösung führte. Nachfolgend wollen wir die drei wichtigsten Prozesse etwas genauer besprechen, nämlich die Reinterpretation perzeptueller Information (Reencoding, Ohlsson, 1992), die Zerlegung von Gruppierungen (chunk decomposition, Knoblich & Wartenberg, 1998; Knoblich, Ohlsson et al., 1999; Knoblich, Ohlsson & Raney, 2001) und die Erweiterung von Zielvorstellungen (constraint relaxation, Jones, 2003; Knoblich & Wartenberg, 1998; Knoblich, Ohlsson et al., 1999; Knoblich, Ohlsson et al., 2001; Ohlsson, 1992).

Ein erster Prozess, der nicht-adäquate Problemrepräsentationen verändern kann, ist die Reinterpretation perzeptueller Information. Eine solche Veränderung wird notwendig, wenn die Problemelemente bei der ursprünglichen Enkodierung eine perzeptuelle Interpretation erfahren, die keine Problemlösung zulässt. Ein gutes Beispiel dafür ist Wertheimers „Parallelogramm und Rechteck“-Problem (Abbildung 8, Wertheimer, 1925). Solange die Problemelemente perzeptuell zu einem Parallelogramm und einem Quadrat gruppiert werden, ist keine Lösung des Problems möglich, der Problemlöser gerät in eine Sackgasse. In der Sackgasse kann ein unbewusster Prozess aktiv werden, der zu einer schlagartigen Reinterpretation des perzeptuellen Inputs führt (ähnlich wie das Kippen der Wahrnehmung beim Betrachten des Necker-Würfels). Bei Wertheimers Problem würden dann zwei rechtwinklige Dreiecke statt eines Quadrats wahrgenommen. Diese Veränderung der Problemrepräsentation würde auch Operatoren aktivieren, die beide Dreiecke gegeneinander verschieben, die Lösung wird trivial.

Ein zweiter Prozess, der eine unpassende Problemrepräsentation verändern kann, ist die Zerlegung von Gruppierungen (chunk decomposition). Dieser Prozess wird nötig, wenn bei der ursprünglichen Enkodierung des Problems eine für die Lösung nicht-adäquate Gruppierung einzelner Elemente der Problemsituation zu sinnvollen semantischen Einheiten generiert wurde. Die Bildung solcher Gruppierungen (chunks, Anderson, 1993; Miller, 1956) wird durch den Abruf von Vorwissen beeinflusst und dient dazu, die Komplexität der Situation zu reduzieren. Problematisch wird die Zusammenfassung von Problemelementen dann, wenn die Problemlösung eine Manipulation der Einzelemente solcher Gruppierungen erfordert, weil anfänglich nur Operatoren aktiviert werden, die die zu Beginn gebildeten Gruppierungen intakt lassen. Operatoren, die Einzelemente der Gruppierung manipulieren, werden zunächst nicht aktiviert. Solche Manipulationen werden nur dann möglich, wenn Gruppierungen zerlegt werden, d.h. die „Bindungsenergie“, die die Gruppierung zusammenhält, überwunden wird. Wir gehen davon aus, dass die Zerlegung von Gruppierungen (chunk decomposition) zunächst

weitgehend unbewusst erfolgt, nachdem eine Sackgasse angetroffen wurde. Die Zerlegung führt dazu, dass nun auch solche Operatoren aktiviert werden, die die Teilelemente der zerlegten Gruppierungen manipulieren. Bei manchen Problemen führt dies direkt zur Lösung.

Abbildung 12 illustriert die Zerlegung von Gruppierungen an einem Problem der Streichholzarithmetik (Knoblich, Ohlsson et al., 1999).

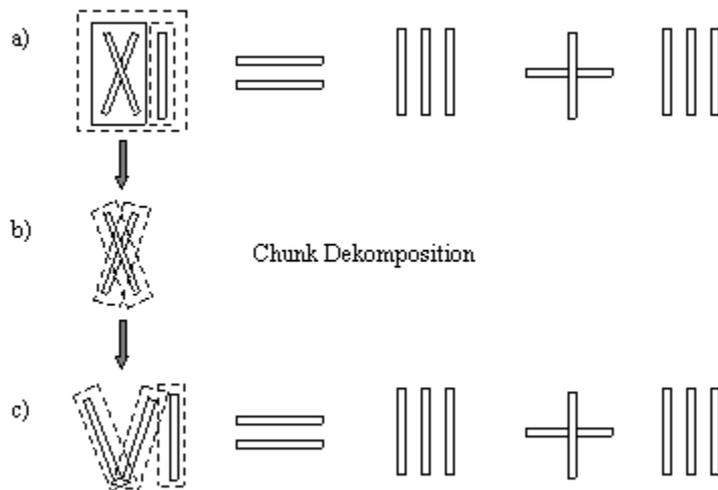


Abbildung 12: a) Unterschiedliche Typen von Gruppierungen bei einer Streichholzaufgabe. Die durchgezogenen Linien stehen für starke Gruppierungen, die gestrichelten Linien für schwache Gruppierungen. b) Zerlegung der engen Gruppierung "X" in ihre Bestandteile (chunk decomposition). c) Lösung des Problems durch einen Operator, der eine Teilkomponente der früheren Gruppierung „X“ manipuliert.

Bei diesen Problemen soll durch das Bewegen (nicht Wegnehmen) eines einzigen Hölzchens ein wahrer arithmetischer Ausdruck hergestellt werden. Dabei kommen unterschiedliche starke Gruppierungen vor. So werden die zwei schrägen Hölzchen am linken Ende der Gleichung während der Enkodierung zu dem Symbol „X“ gruppiert, der römischen Zahl für 10. Diese Gruppierung ist stark, weil die einzelnen schrägen

Hölzchen im Kontext der Gleichung keinen Sinn machen (sie dürfen nicht als „1“ interpretiert werden). Gleichzeitig wird aber auch aus dem Symbol „X“ und dem rechts davon stehenden Symbol „I“ eine Gruppierung gebildet. Diese Gruppierung ist schwächer, da ihre Einzelemente „X“ und „I“ jeweils sinnvolle Entitäten im Kontext der Gleichung darstellen. Wir nehmen an, dass die anfänglich gebildete Problemrepräsentation zwar Operatoren aktiviert, die die Einzelemente schwacher Gruppierungen manipulieren, nicht aber Operatoren, die Einzelemente starker Gruppierungen manipulieren. Deshalb sollten Probleme, die eine Zerlegung starker Gruppierungen erfordern, sehr viel schwerer sein als Probleme, die eine Zerlegung schwacher Gruppierungen erfordern. Diese Hypothese konnte wiederholt empirisch bestätigt werden. So wurde das Problem $IV = III + III$ (Lösung: $VI = III + III$), bei dem nur eine schwache Gruppierung zerlegt werden muss, in einer gegebenen Zeitspanne deutlich häufiger gelöst als das in der Abbildung 12 dargestellte Problem (90% und 40% in zwei Minuten, Knoblich et al., 1999, Experiment 1).

Ein dritter Prozess, der zur Veränderung nicht-adäquater Problemrepräsentationen führen kann, ist die Zielerweiterung (constraint relaxation). Wie der Name schon andeutet, wird hier nicht die Repräsentation der Problemsituation verändert, wie bei den beiden vorher beschriebenen Prozessen, sondern die mentale Repräsentation des Ziels. Eine solche Veränderung wird dann notwendig, wenn bei der anfänglichen Enkodierung des Problems eine zu enge Zielrepräsentation gebildet wurde, die keine Lösung des Problems zulässt. Grund für die Enkodierung zu enger Zielrepräsentationen ist wiederum die Vorerfahrung mit ähnlichen Problemen. Z.B. wird man, wenn man eine mathematische Gleichung antrifft, zunächst eine Zielrepräsentation bilden, in der nur die Werte als variabel und dadurch als manipulierbar repräsentiert werden. Entsprechend werden nur Operatoren aktiviert, die Werte manipulieren. Falls eine zu enge Zielrepräsentation keine Lösung des Problems zulässt, muss eine Erweiterung dieser Zielrepräsentation erfolgen, d.h. Beschränkungen, die den Raum der Möglichkeiten einengen, müssen reduziert werden.

Wir gehen davon aus, dass diese Erweiterung durch unbewusste Aktivierungsverschiebungen zustande kommt. Eine erweiterte Zielrepräsentation führt dann möglicherweise zur Aktivierung neuer Operatoren, die eine Lösung des Problems zulassen.

Dies kann wiederum an einem Problem der Streichholzarithmetik illustriert werden (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Prozess der Zielerweiterung (Constraint Relaxation) bei der Lösung eines Problems der Streichholzarithmetik. a) Standardzielrepräsentation, wie sie durch das arithmetische Vorwissen nahe gelegt wird. Die Operatoren werden als konstant (=, -) und die Werte als variabel (X, Y, Z) repräsentiert. Die Operatoren werden hier nur schwach aktiviert. b) Constraint Relaxation: Die Zielvorstellung wird erweitert. Ab jetzt werden auch die Operatoren als variabel (OP_1 und OP_2) repräsentiert. Die Operatoren werden stark aktiviert und in eine mögliche Lösung miteinbezogen. c) Lösung: Gleichheits- und Minusoperator vertauschen ihre Positionen. Die Lösung erfolgt ausschließlich durch die Manipulation der Operatoren.

Wieder soll durch das Bewegen (nicht Wegnehmen) eines einzigen Hölzchens ein wahrer Ausdruck hergestellt werden. Wir vermuten, dass bei der anfänglichen Enkodierung des

Problems eine Zielrepräsentation gebildet wird, in die Vorwissen über die Lösung gewöhnlicher arithmetischer Probleme mit eingeht. Da in der gewöhnlichen Arithmetik häufig Werte verändert werden, aber kaum die arithmetischen Operatoren (wie Plus-, Minus-, und Gleichheits-Zeichen) sollten Werte in der Zielrepräsentation als veränderlich und Operatoren als nicht veränderlich repräsentiert sein. Aus diesem Grund sollten Problemlöser zunächst nur Operatoren anwenden, die Zahlen manipulieren. Damit kann das Problem in Abbildung 13 aber nicht gelöst werden. Vielmehr muss es zu einer Erweiterung der zu engen Zielvorstellung kommen. Insbesondere müssen auch die arithmetischen Symbole (+, -, =) als variabel repräsentiert werden. Erst dann kann ein Hölzchen vom Gleichheits-Zeichen zum Minus-Zeichen bewegt werden, so dass $IV - III = I$ resultiert. Dagegen sollten Probleme, bei denen ein Hölzchen zwischen zwei Werten bewegt wird, mit der ursprünglichen Zielrepräsentation gelöst werden können, und damit viel einfacher zu lösen sein (z.B. $VI = VII + I \rightarrow VII = VI + I$). Diese Voraussage wurde experimentell bestätigt (Knoblich, Ohlsson et al., 1999). So lösten in einem Experiment 75% der Teilnehmer ein Problem, bei dem ein Hölzchen zwischen Zahlen bewegt werden musste, innerhalb einer Minute. Dagegen lösten in derselben Zeit nur 5% ein Problem, bei dem ein Hölzchen zwischen dem Gleichheits-Zeichen und dem Minus-Zeichen bewegt werden musste. Auch die Schwierigkeit weiterer Problemtypen der Streichholzarithmetik folgte dem durch die Zielerweiterungshypothese vorhergesagten Muster.

Knoblich, Ohlsson und Raney (2001) überprüften die Annahmen der RV-Theorie in einer Blickbewegungsstudie. Bei einer Blickbewegungsstudie tragen die Versuchspersonen einen Apparat, der es ermöglicht, Augenbewegungen aufzuzeichnen. Dadurch kann festgestellt werden, wie oft und wie lange Personen bestimmte Informationen betrachten. Daraus lassen sich wiederum Rückschlüsse darüber anstellen, welche Informationen Personen bevorzugt verarbeiten. Die Ergebnisse des Experimentes zeigten, dass in Gleichungen der Streichholzarithmetik (Abbildung 12 und 13) die Werte anfangs sehr viel länger betrachtet wurden als die arithmetischen Operatoren. Dies unterstreicht weiter

die Annahme, dass die anfängliche Repräsentation eines Problems durch die Vorerfahrung der Problemlöser mit ähnlichen Problemen gefärbt („gebiast“) ist. Außerdem zeigte sich, dass nur bei Problemen, die eine Veränderung der Problemrepräsentation erforderten, die Blickdauer in späteren Phasen generell deutlich anstieg. Dies kann als Evidenz für das Auftreten für Sackgassen interpretiert werden. Während einer Sackgasse starteten die Problemlöser das Problem an, ohne zu wissen, was sie als nächstes tun sollten. Bei erfolgreichen Problemlösern verschob sich die Aufmerksamkeit kurz vor der Lösung auf die kritischen Problemelemente. Die Ergebnisse der Blickbewegungsstudie stellen also einen weiteren Beleg für die Annahmen der RV-Theorie dar.

3.2.2 Gezielte Erweiterung unvollständiger Problemrepräsentationen unter Zuhilfenahme von Heuristiken (RV-Theorie II)

Eine andere Variante der Theorie repräsentationaler Veränderung wurde von Kaplan und Simon (1990) vorgeschlagen. Wie Ohlsson und Kollegen gehen Kaplan und Simon davon aus, dass manche Probleme anfänglich in einer Art und Weise repräsentiert werden, die keine Lösung des Problems zulässt. Sie betonen dabei insbesondere die Möglichkeit, dass bei der anfänglichen *Enkodierung* des Problems entscheidende Problemaspekte nicht berücksichtigt werden, d.h., Probleme können unvollständig repräsentiert werden. Daraus resultiert ein unvollständiger Problemraum, der keine Lösung des Problems zulässt. In diesem Fall wird eine Veränderung der Problemrepräsentation nötig, bei der ein *Elaborationsprozess* die kritischen Problemaspekte ergänzt (vgl. auch Ohlsson, 1984b). Kaplan und Simon nehmen an, dass Problemlöser explizit versuchen, die Problemrepräsentation anzureichern, wenn sie der Lösung nicht näher kommen. Dies steht im Gegensatz zu Ohlssons Annahme, dass Veränderungen der Problemrepräsentation durch unbewusste Prozesse erfolgen.

„Within a given problem space, the trick lies in searching for the right operator to apply next. But if no operators seem to yield progress, one must search for a new problem space to explore.“ (Kaplan & Simon, 1990, S. 377).

Außerdem postulieren Kaplan und Simon, dass Problemlöser Heuristiken benutzen, mit denen sie Invarianten in den unterschiedlichen Problemrepräsentationen auffinden, die im Laufe der Problemlösung gebildet wurden.

Um ihre Annahmen zu überprüfen, forderten Kaplan und Simon Versuchspersonen auf, unterschiedliche Versionen des Problems des Unvollständigen Schachbretts (Wickelgren, 1974) zu lösen. Abbildung 14 zeigt zwei Versionen des Problems.

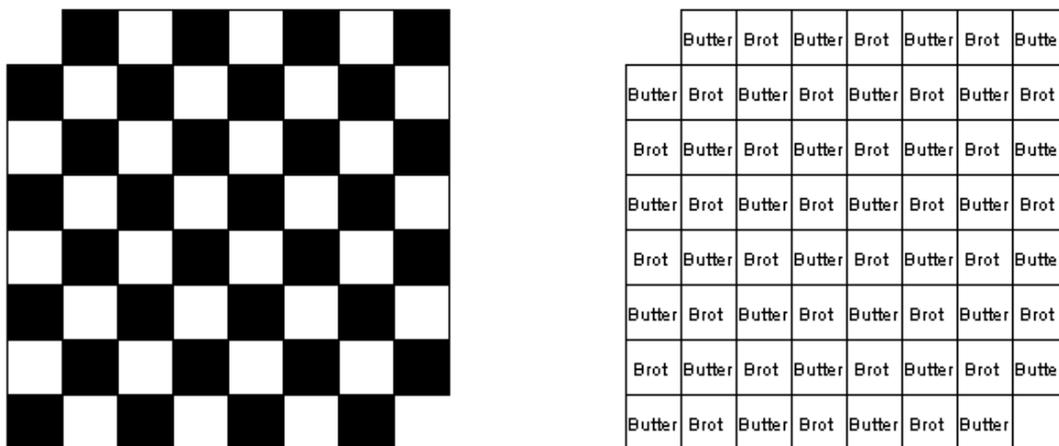


Abbildung 14: Das unvollständige Schachbrett nach Wickelgren, 1974. Ist ein vollständiges Bedecken der Felder mit 31 Dominosteinen, die immer zwei benachbarte Felder überdecken, möglich? Links ist das Originalproblem dargestellt, rechts die „Brot und Butter“ Version.

Die Aufgabe besteht darin herauszufinden, ob die 62 Felder, die nach dem Abschneiden der Ecken noch verbleiben, sich durch 31 rechteckige Dominosteine vollständig bedecken lassen, die jeweils zwei benachbarte Felder überdecken. Die richtige Antwort ist, dass die verbleibenden 62 Felder des Bretts nicht mit 31 Dominosteinen bedeckt werden können, weil die abgeschnittenen Felder dieselbe Parität haben. Dies kann man sich am besten anhand der „Brot und Butter“ Version des Problems verdeutlichen. Jeder der

rechteckigen Dominosteine kann nur zwei unterschiedliche Felder bedecken, aber niemals zwei Brot-Felder oder zwei Butter-Felder auf einmal. Die beiden abgeschnittenen Felder sind aber Brot-Felder, was impliziert, dass nur 30 der verbleibenden Felder Brot-Felder sind, während 32 Butter-Felder vorhanden sind. Es ist aber nicht möglich, 30 Brot-Felder mit 31 Dominosteinen zu bedecken. Dasselbe Argument gilt natürlich analog für die schwarzen und weißen Felder.

Kaplan und Simon vermuten, dass die große Schwierigkeit des Problems dadurch zustande kommt, dass die anfängliche Repräsentation einen Problemraum mit Millionen von Möglichkeiten generiert, der zentrale Aspekt des Problems, dass es 30 Felder des einen Typs und 32 Felder des anderen Typs gibt, dagegen anfänglich nicht repräsentiert wird. Zwei empirische Ergebnisse aus ihrer Studie unterstützen die letztere Annahme. Von den insgesamt vier verwendeten Versionen waren diejenigen am leichtesten zu lösen, welche die Unterschiedlichkeit der Felder am stärksten betonten (Brot und Butter). Außerdem waren die Lösungshinweise am wirksamsten, die zum Zählen der unterschiedlichen Typen von Feldern aufforderten und damit die Aufmerksamkeit der Problemlöser auf den kritischen Aspekt der Parität lenkten.

Allerdings konnten nicht alle Versuchspersonen gleich stark von Lösungshinweisen profitieren. Die unterschiedliche Wirksamkeit der Lösungshinweise liegt Kaplan und Simon zufolge in der unterschiedlichen Anwendung von Heuristiken begründet. Eine Analyse von Laut-Denk-Protokollen ergab, dass erfolgreiche Problemlöser in erster Linie eine Heuristik anwendeten, die auf das Entdecken von Invarianten bei unterschiedlichen Lösungsversuchen abzielte:

„[...] noticing invariants is a widely applicable rule of thumb for searching in ill-defined domains, there can be no guarantee that those noticed will be the critical ones for the particular problem. Nevertheless, the constraints offered by the Notice Invariant heuristic are a vast improvement over blind trial and error search.“ (Kaplan & Simon, 1990, S. 404).

3.2.3 Aufgaben irreführender Heuristiken (DE-Theorie)

Die Theorie dynamischer Einschränkungen (DE-Theorie) macht einen weiteren Vorschlag zur Erweiterung der Problemraumtheorie (Chronicle, MacGregor et al., 2004; Kaplan & Simon, 1990; MacGregor, Ormerod & Chronicle, 2001; Ormerod, MacGregor & Chronicle, 2002). Die Vertreter dieser Theorie nehmen an, dass die Verwendung unpassender Heuristiken die Lösung von Problemen verhindern kann und dass Einsicht dann auftritt, wenn Problemlöser vom Gebrauch unpassender Heuristiken ablassen.

Dabei wird folgender Prozess angenommen: Je eher eine inadäquate Heuristik scheitert, desto früher gerät der Problemlöser in eine Sackgasse und desto stärker wird die Tendenz, nach weiteren möglichen Zügen zu suchen (Chronicle, MacGregor et al., 2004; MacGregor, Ormerod et al., 2001; Ormerod, MacGregor et al., 2002). Dabei stellt eine Maximierungsheuristik (z.B. die Methode der Unterschiedsreduktion) sicher, dass Operatoren ausgewählt werden, die den aktuellen Zustand auf das Ziel zu bewegen. Zum anderen benutzen die Problemlöser eine Überwachungsheuristik (progress monitoring), die ein bestimmtes „Fortschritts-Kriterium“ an die verfügbaren Operatoren anlegt, um festzustellen, ob diese Operatoren tatsächlich einen Fortschritt erlauben. Wenn keiner der ausgewählten Operatoren das Fortschritts-Kriterium erfüllt, wird eine Suche nach alternativen Operatoren eingeleitet. Für diese neue Suche werden bestehende Einschränkungen in der Problemrepräsentation aufgehoben. Sackgassen sind demnach notwendig, um eine Suche nach günstigeren Zuständen (promising states) anzustoßen (MacGregor, Ormerod et al., 2001, S. 176). Danach können neue Teilziele generiert werden, die neue Operatoren verfügbar machen. Die neuen Teilziele leiten den weiteren Suchvorgang und engen den Problemraum wieder ein. Dies entspricht im Grunde genommen einer Mittel-Ziel-Analyse.

Von dieser Dynamik des Erweiterns und Einengens des Problemraums rührt auch der Name der Theorie her (Theorie dynamischer Einschränkungen, dynamic constraint theory, DCT). Eine weitere Einflussgröße, die die Wahrscheinlichkeit, mit der

Problemlöser in eine Sackgasse geraten, beeinflusst, ist die mentale Vorausschau (mental look-ahead). Unter mentaler Vorausschau verstehen MacGregor und Kollegen, wie viele Züge ein Problemlöser vorausdenken kann, ohne die entsprechenden Züge tatsächlich auszuführen. Die DCT geht davon aus, dass Personen, die mehrere Züge voraus denken können (weite mentale Vorausschau), eher auf Sackgassen treffen als Personen, die z.B. nur einen Zug voraus denken können (enge mentale Vorausschau). Der Grund dafür ist, dass Personen mit weiter mentaler Vorausschau schneller feststellen können, dass das aktuelle Kriterium im bestehenden Problemraum nicht erfüllt werden kann.

Wie die Erweiterung der Problemrepräsentation in der Sackgasse letztlich aussieht und wodurch sie zustande kommt, spezifizieren MacGregor und Kollegen nicht weiter. In ihrer ersten Arbeit, die den Grundstein für die DE-Theorie legte, orientierten sie sich bei diesem Punkt (MacGregor, Ormerod et al., 2001) noch an Ohlssons Konzept der Zielerweiterung:

“We follow Ohlsson (1992) in proposing constraint relaxation as a fundamental mechanism for changing the problem space to generate novel moves.” (MacGregor et al., 2001, S. 108).

In späteren Arbeiten (Chronicle, MacGregor et al., 2004; Ormerod, MacGregor et al., 2002) spielt dieses Konzept keine Rolle mehr. Es deutet sich an, dass MacGregor, Ormerod und Chronicle beabsichtigen, eine Theorie der Einsicht zu entwickeln, die ohne das Konzept der repräsentationalen Veränderung auskommt. In ihrer aktuellsten Arbeit betonten sie:

„Our view of the processes of solution discovery in insight problem solving indicates links between insight and conventional problem solving, suggesting that accounting for insight lies within the scope of unitary cognitive architectures such as Soar [...] and adaptive control of thought [...]“ (Chronicle et al., 2004, S. 26).

Dieses Zitat verdeutlicht die zunehmende Rückbesinnung der DE-Theorie auf die klassische Problemraumtheorie. Heuristiken spielen demnach bei Einsichtsproblemen die zentrale Rolle. Die Schwierigkeit bei Einsichtsproblemen liegt dabei letztlich darin begründet, die beteiligten Heuristiken, mit denen der Problemraum effizient abgesucht

werden kann, zu identifizieren und so zur Lösung zu gelangen. Ähnliche Mechanismen sind von Thomas (1974) zur Erklärung der Schwierigkeit des Missionar und Kannibalen Problems und von Atwood und Polson (1976) zur Erklärung der Schwierigkeit von Wasserumschüttaufgaben verwendet worden. Beide Aufgaben werden klassischerweise nicht als Einsichtsprobleme betrachtet. Im Moment ist noch unklar, ob sich die DE-Theorie tatsächlich zu einer neuen Variante eines „nothing-special-views“ entwickelt, der davon ausgeht, dass zur Erklärung von Einsichtsphänomenen keine speziellen Mechanismen angenommen werden müssen.

In einer ersten empirischen Studie testeten MacGregor und Kollegen (2001) die Annahmen der DE-Theorie anhand des Neun-Punkte-Problems (Scheerer, 1963). Bei diesem klassischen Problem besteht die Aufgabe darin, die neun Punkte durch vier gerade Linien zu verbinden, ohne den Stift abzuheben (siehe Abbildung 15 a). MacGregor und Kollegen gehen davon aus, dass das Maximierungskriterium bei diesem Problem darin besteht, so viele Punkte wie möglich mit einer Linie zu verbinden. Das Fortschrittskriterium, gegen das getestet wird, ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen den noch auszureichenden Punkten und der Anzahl noch aufgesparter Linien.

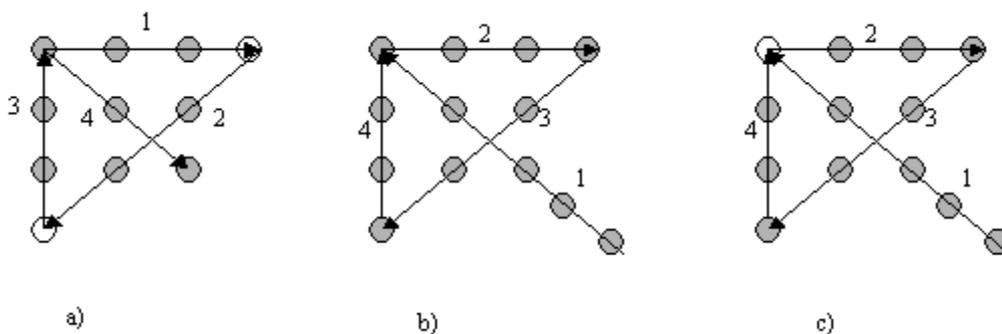


Abbildung 15: Neun-Punkte-Problem mit Variationen. a) Ursprüngliches Neun-Punkte-Problem mit Lösung. Die Zahlen bezeichnen die Reihenfolge der Linien. Die weißen

Kreise sind kein Bestandteil der Problemvorlage, sondern veranschaulichen nur die Stellen, bei denen Linien auf Nicht-Punkte gezogen werden müssen. b) 13-Punkte-Problem mit Lösung. Hier müssen keine Nicht-Punkte in die Lösung einbezogen werden. c) 12-Punkte-Problem mit Lösung und erforderlicher Nicht-Punkt-Erweiterung.

MacGregor und Kollegen untersuchten diese Annahmen, indem sie Versuchspersonen baten, mehrere Varianten des Neun-Punkte-Problems zu lösen. In einigen Varianten mussten keine Linien zu Nicht-Punkten gezogen werden (siehe 13-Punkte-Problem in Abb. 15 b). Diese Varianten waren deutlich einfacher als das ursprüngliche Neun-Punkte-Problem. Wie von der DE-Theorie vorhergesagt, führten die Versuchspersonen tatsächlich überzufällig den Zug als ersten aus, der die meisten Punkte miteinander verband (Abb. 15 b, Zug 1).

In einem weiteren Experiment verwendeten MacGregor und Kollegen zwei weitere Varianten des Neun-Punkte-Problems (siehe Zwölf-Punkte-Problem in Abb. 15 c). Bei allen Varianten musste ein „Nicht-Punkt“ in die Lösung miteinbezogen werden. Bei einer Variante lag der „Nicht-Punkt“ auf der Diagonalen der Punkte, die dem Maximierungskriterium zufolge zuerst verbunden werden sollten (siehe Abb. 15 c, Zug 1). In einer weiteren Version lag der „Nicht-Punkt“ nicht auf einer Linie mit den Punkten, die dem Maximierungskriterium zufolge zuerst verbunden werden sollten. Dabei zeigte sich, dass der „Nicht-Punkt“ bei der ersten Variante schnell in die Lösung einbezogen wurde. Dagegen hatten die Problemlöser in der zweiten Variante große Schwierigkeiten, den „Nicht-Punkt“ in die Lösung mit einzubeziehen. Wie von der DE-Theorie vorhergesagt, half das Maximierungskriterium dabei, einen „Nicht-Punkt“ in die Lösung mit einzubeziehen.

In einer weiteren Studie testeten Ormerod und Kollegen (2002) Vorhersagen der DE-Theorie für das von ihnen selbst konstruierte Acht-Münzen-Problem (siehe Abbildung

16). Die Aufgabe besteht darin, die Münzen durch das Bewegen von zwei Münzen so zu arrangieren, dass jede Münze genau drei andere berührt.

Das Problem kann nur gelöst werden, wenn in einem drei-dimensionalen Problemraum nach den notwendigen Operatoren gesucht wird. Ormerod und Kollegen zufolge suchen die Problemlöser zunächst in einer zwei-dimensionalen Problemrepräsentation nach verfügbaren Zügen. Das Maximierungskriterium besteht darin, das Arrangement der Münzen so zu verändern, dass mit jedem Zug die Anzahl der Münzen, die genau drei andere Münzen berühren, so weit wie möglich erhöht wird.

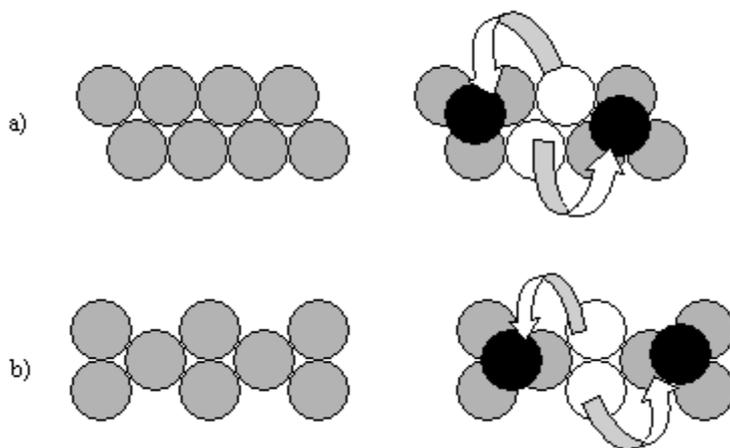


Abbildung 16: Das Acht-Münzen-Problem. a) Acht-Münzen-Problem, bei dem keine Züge im zwei-dimensionalen Raum verfügbar sind, die das Kriterium erfüllen und seine Lösung. b) Acht-Münzen-Problem, bei dem weitere Züge im zwei-dimensionalen Raum verfügbar sind, die das Kriterium erfüllen und seine Lösung.

In einem Experiment testeten Ormerod und Kollegen, ob Problemlöser dieses Kriterium tatsächlich verwenden. Dazu variierten sie die Anzahl der verfügbaren Züge im zwei-dimensionalen Problemraum, die die Anzahl der Münzen, die genau drei andere Münzen

berühren, erhöhen. Bei dem Problem a) in Abbildung 16 waren keine weiteren Züge möglich, die das Kriterium erfüllten, wohl aber beim Problem b). Der DE-Theorie zufolge sollten Problemlöser bei Problem a) schneller Sackgassen antreffen als beim Problem b), weil das Fehlen von Zügen, die das Kriterium erfüllen, zur Suche nach alternativen Zügen führt. Tatsächlich waren die Lösungsraten für die Variante a) deutlich höher als für die Variante b). Allerdings ergaben sich diese Unterschiede erst, nachdem die Problemlöser den Lösungshinweis erhielten, dass die Lösung nur möglich sei, wenn die dritte Dimension mit einbezogen wird. Bevor dieser Hinweis gegeben wurde, war das Problem praktisch unlösbar. Dies zeigt nachdrücklich, dass die DE-Theorie Probleme damit hat, die Haupt-Schwierigkeitsquelle in diesem Problem zu erklären. Die RV-Theorie würde hier postulieren, dass die durch das Vorwissen gefärbte Zielrepräsentation zu stark eingeschränkt ist und nur Lösungen im zweidimensionalen Raum zulässt. Diese Zielrepräsentation muss auf den drei-dimensionalen Raum erweitert werden, um zu einer Lösung zu gelangen. Chronicle und Kollegen (2004) führten Untersuchungen an einem 6-Münzen-Problem durch, die einige Annahmen der DE-Theorie unterstützen.

Jones (2003) führte eine Studie durch, die gleichzeitig die Annahmen der DE-Theorie und der RV-Theorie (siehe 3.2.1) anhand des sogenannten Taxiproblems untersuchte. Das Taxi soll aus einem engen Parkhaus manövriert werden (man stelle sich ein Parkhaus vor, in dem ein Parkwärter versucht, möglichst viele Autos auf engstem Raum unterzubringen). Dabei stehen dem Taxi andere Autos im Weg, die jeweils nur vorwärts und rückwärts bewegt werden können. Manche Autos sind vertikal angeordnet und andere horizontal. Das Ziel besteht darin, die Autos solange zu manövrieren, bis das Taxi das Parkhaus verlassen kann. Die Aufgaben waren so ausgewählt, dass auch das Taxi bewegt werden musste, um die Konfiguration der restlichen Autos erfolgreich verändern zu können.

Aus der RV-Theorie leitet Jones unter anderem die Vorhersage ab, dass sich Problemlöser zunächst die unnötige Einschränkung auferlegen, dass das Taxi nicht bewegt werden kann, und dass diese Einschränkung nur durch eine Zielerweiterung überwunden werden kann, die nach einer Sackgasse vorgenommen wird. Aus der DE-Theorie leitete er unter anderem die Vorhersage ab, dass Personen mit einer weiteren mentalen Vorausschau erfolgreicher sein werden als Personen mit einer eingeschränkten mentalen Vorausschau.

Beide Hypothesen überprüfte Jones anhand der Lösungsraten, der gewählten Züge und der Blickbewegungen von Personen, die eine Computerversion des Taxiproblems lösten. Sackgassen definierte er als Zeitabschnitte, in denen die Personen das Problem betrachteten, ohne einen Zug auszuführen (ein Auto zu bewegen). Die Analyse der Blickbewegungen belegte klar die Annahme der RV-Theorie: Problemlöser trafen Sackgassen an, bevor sie das Taxi zum ersten Mal bewegten. Aber auch der von der DE-Theorie postulierte Einfluss der mentalen Vorausschau fand sich in den Daten. Es zeigte sich tatsächlich, dass Personen mit einer mentalen Vorausschau von drei Zügen wesentlich besser abschnitten als Personen mit einer geringeren mentalen Vorausschau, weil sie eher in Sackgassen gerieten. Jones resümierte, dass weder die DE-Theorie noch die RV-Theorie alleine die Befunde befriedigend erklären konnten, und schlug vor, nach einem integrativen Ansatz zu suchen:

„The dynamical constraint theory essentially covers insight up to the point at which insight is sought. [...] The representational change theory on the other hand covers how insight will be achieved, and, therefore, the point at which insight is sought is the beginning point of the theory.“ (Jones, 2003, S. 1026).

3.3 Einsicht: Bewusst oder unbewusst?

Die drei im letzten Abschnitt dargestellten Erweiterungen der Problemraumtheorie zur Erklärung von Einsicht unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Annahmen über die Bewusstheit der Prozesse, die zur Einsicht führen. Ohlsson geht davon aus, dass die Prozesse, die zur Veränderung der Repräsentation führen, Problemlösern nicht bewusst sind, sondern dass unbewusste und parallele Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse die Veränderung herbeiführen (Ohlsson, 1984b; Schooler, Ohlsson et al., 1993; siehe auch Sternberg & Davidson, 1995; Knoblich, Ohlsson et al., 1999). Dadurch lässt sich die Plötzlichkeit der Einsicht erklären. Dass die Lösung eines Problems gefunden wurde, wird dem Problemlöser erst in dem Moment klar, in dem sie vor seinem geistigen Auge erscheint. Dagegen nehmen Kaplan und Simon (1990) an, dass Problemlöser bewusst nach einer neuen Repräsentation des Problems suchen. MacGregor und Kollegen (2001) machen keine expliziten Annahmen zur Bewusstheit der beteiligten Prozesse. In den folgenden Abschnitten stellen wir nun einige Untersuchungen dar, die sich der Frage widmeten, ob Einsicht unbewusst zustande kommen kann.

3.3.1 Metakognitive Urteile

Einige wichtige Untersuchungen zu dieser Frage wurden von Metcalfe und Kollegen durchgeführt. In diesen Untersuchungen wurde die Genauigkeit metakognitiver Urteile über den Lösungsfortschritt bei Einsichtsproblemen mit der Genauigkeit dieser Urteile bei anderen Aufgaben erhoben (Metcalfe, 1986a, 1986b; Metcalfe & Wiebe, 1987). In einer ersten Studie verglich Metcalfe (1986a) sogenannte „feeling of knowing“-Urteile beim Gedächtnisabruf und bei der Lösung von Einsichtsproblemen. Dazu ließ sie Versuchspersonen in einer Bedingung Wissensfragen lösen, die keine Einsicht erforderten. Nach einiger Zeit des Überlegens sollten die Versuchspersonen für jede Frage die subjektive Wahrscheinlichkeit angeben, mit der sie diese Frage in der noch verbleibenden Zeit beantworten würden. In einer zweiten Bedingung lösten die Versuchspersonen verschiedene Einsichtsprobleme. Auch in dieser Bedingung wurden

die Versuchspersonen nach einiger Zeit gefragt, wie hoch sie die Wahrscheinlichkeit einschätzten, dass sie das jeweilige Problem in der verbleibenden Zeit noch lösen würden. Dabei ergab sich, dass die Einschätzungen der Versuchspersonen für die Wissensfragen tatsächlich signifikant mit ihrer späteren Leistung korrelierten. Für die Einsichtsprobleme bestand kein signifikanter Zusammenhang. Die fehlende Vorhersagbarkeit über den eigenen Erfolg bei der Lösung von Einsichtsproblemen interpretierte Metcalfe als Evidenz dafür, dass die Lösung dieser Probleme durch unbewusste Umstrukturierungsprozesse zustande kommt.

In einer weiteren Studie erhob Metcalfe (1986b) kontinuierlich Heiss-Kalt-Urteile von Versuchspersonen, die Einsichtsprobleme lösten. Mit diesen Urteilen gaben die Versuchspersonen alle 10 Sekunden an, wie nahe sie sich der Lösung fühlten. Metcalfe verglich den Verlauf dieser Urteile in den letzten 40 Sekunden vor der Äußerung korrekter Lösungsvorschläge mit dem Verlauf der Urteile vor der Äußerung nicht korrekter Lösungsvorschläge. Dabei zeigte sich, dass die Problemlöser vor der Äußerung nicht korrekter Lösungsvorschläge das Gefühl hatten, sich der Lösung anzunähern. Dagegen hatten die Problemlöser vor der Äußerung korrekter Lösungsvorschläge nicht das Gefühl, sich der Lösung anzunähern. Dies unterstreicht weiter die Annahme, dass Problemlöser ihren späteren Erfolg bei der Lösung von Einsichtsproblemen nicht vorhersagen können.

Schließlich verglichen Metcalfe und Wiebe (1987) kontinuierlich Heiss-Kalt-Urteile, die während der Lösung von Einsichtsproblemen abgegeben wurden, mit Heiss-Kalt-Urteilen, die während der Lösung konventioneller Probleme (z.B. Algebra-Probleme) abgegeben wurden. Während die Problemlöser bei der Lösung konventioneller Probleme das veridikale Gefühl hatten, der Lösung immer näher zu kommen, gaben sie bei Einsichtsproblemen auch dann noch an, weit von der Lösung entfernt zu sein, wenn die eigentliche Lösung unmittelbar bevorstand. Zusammengefasst stellen die

Untersuchungen von Metcalfe und Kollegen einen direkten empirischen Beleg für die Annahme dar, dass Einsichten durch unbewusste Prozesse zustande kommen und nicht durch bewusste Prozesse, die einen schrittweisen Fortschritt ermöglichen (siehe Weisberg, 1992, für eine Kritik dieser Studien).

3.3.2 Effekte von Verbalisierung

Ein weiterer empirischer Beleg für die unbewusste Natur von Einsicht wurde von Schooler und Kollegen (1993) erbracht. Sie interessierten sich für die Frage, ob die Verbalisierung von Problemlösestrategien und Problemlöseschritten spezifisch mit der Lösung von Einsichtsproblemen interferiert. Dies sollte der Fall sein, wenn Einsicht durch unbewusste Prozesse zustande kommt. Verbalisierung interferiert nachweislich mit automatischen (unbewussten) Informationsverarbeitungsprozessen, nicht aber mit kontrollierten Informationsverarbeitungsprozessen (vgl. Ericsson & Simon, 1993).

Schooler und Kollegen forderten in einem ersten Experiment Problemlöser auf, verschiedene Einsichtsprobleme zu lösen. Nach einiger Zeit wurden die Problemlöser in ihren Lösungsversuchen unterbrochen. Die Personen in der Experimentalgruppe wurden dazu aufgefordert aufzuschreiben, welche Versuche sie unternommen hätten, das Problem zu lösen. Die Personen in der Kontrollgruppe lösten für dieselbe Zeitspanne ein Kreuzworträtsel. Nach dieser Unterbrechung wurde die Lösung des Problems fortgesetzt. Dabei ergaben sich signifikant niedrigere Lösungsraten für die verbalisierende Experimentalgruppe. In einem weiteren Experiment forderten Schooler und Kollegen (1993) die Problemlöser auf, während der Bearbeitung einer Reihe von Einsichtsproblemen und schrittweise lösbarer Probleme gleichzeitig laut zu denken (Duncker, 1935; Ericsson & Simon, 1993). Problemlöser in einer Kontrollgruppe bearbeiteten dieselben Probleme, ohne ihre Gedanken gleichzeitig laut auszusprechen. Die Ergebnisse zeigten, dass Lautes Denken spezifisch mit der Lösung von

Einsichtsproblemen interferierte. Für diese Probleme ergaben sich in der Experimentalgruppe niedrigere Lösungsraten im Vergleich zur Kontrollgruppe. Für die Lösung schrittweiser Probleme ergab sich kein solcher Unterschied.

Schooler und Kollegen (1993) interpretierten diese Ergebnisse folgendermaßen: Verbalisierung führt zur verstärkten Aktivierung des bei der Enkodierung eines Problems abgerufenen Wissens (inklusive der bisher verfolgten Lösungsstrategien). Diese höhere Aktivierung verringert die Wahrscheinlichkeit, dass unbewusste Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse eine Veränderung der ursprünglichen Problemrepräsentationen herbeiführen können. Bei Problemen, die eine Veränderung der Problemrepräsentation erfordern, verhindert Verbalisierung also die kritische Veränderung durch unbewusste Prozesse. Bei Problemen, die schon korrekt repräsentiert sind, hat die zusätzliche Aktivierung kaum Auswirkungen auf den Problemlöseerfolg.

3.3.3 Effekte unterschwelliger und indirekter Lösungshinweise

In weiteren Studien wurde untersucht, ob unterschwellig dargebotene oder indirekte Lösungshinweise die Lösung von Einsichtsproblemen erleichtern können (vgl. auch Maier, 1931, siehe Abschnitt 2.2.2). Solche Studien können weitere indirekte Evidenz dafür liefern, dass plötzliche Einsichten durch unbewusste Prozesse zustande kommen. Diesen Manipulationen liegt folgende Logik zugrunde: Nicht bewusst wahrgenommene externe Hinweise können zu Aktivierungsverschiebungen in kognitiven Repräsentationen führen. Wenn dadurch die Wahrscheinlichkeit, Einsicht zu erlangen, erhöht wird, dann ist es wahrscheinlich, dass solche Aktivierungsverschiebungen auch durch unbewusste, interne Prozesse herbeigeführt werden können.

In einer Studie (Knoblich & Wartenberg, 1998) baten wir Versuchspersonen, Aufgaben der Streichholzarithmetik zu lösen (siehe z.B. Abbildung 12). Nach einiger Zeit wurden in einer Experimentalgruppe unterschwellige, also nicht bewusst wahrnehmbare,

Hinweisreize dargeboten, die die richtigen Manipulationen an den kritischen Hölzchen zeigten. In einer Kontrollgruppe wurden dagegen keine solchen Lösungshinweise dargeboten. Dabei zeigte sich, dass die Lösungshinweise selektiv die Lösungsrate bei Problemen erhöhten, die eine Zielerweiterung (constraint relaxation, siehe Abschnitt 3.2.1) erforderten. Bei Problemen, die keine Zielerweiterung erforderten, waren die Hinweise nicht wirksam. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Ohlssons (1992) Annahme, dass die Veränderung von Zielrepräsentationen durch unbewusste Prozesse erfolgen kann.

Einen Hinweis auf die Bedeutsamkeit unbewusster perzeptueller Prozesse für die Lösung schwieriger Einsichtsprobleme geben die Experimente von Grant und Spivey (2003). Sie verwendeten Dunckers Strahlenproblem (Duncker, 1935; siehe auch Abschnitt 2.3). Das Problem besteht darin, einen inoperablen Tumor mit Strahlung zu zerstören. Dabei darf jedoch nicht das umgebende Gewebe in Mitleidenschaft gezogen werden, was passieren würde, wenn man einen Laser direkt auf den Tumor richten würde (siehe Abbildung 17). Die Lösung besteht darin, mehrere Strahlenquellen mit schwacher Intensität zu verwenden. Die Strahlenquellen sind dabei so anzuordnen, dass sich ihre Strahlung genau im Tumor überlagert und diesen so zerstört.

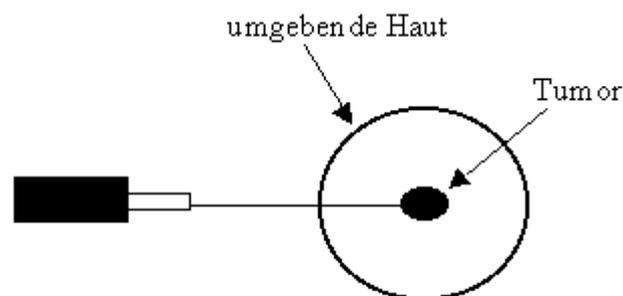


Abbildung 17: Duncckers Tumorproblem: Die Abbildung zeigt einen Laser, dessen Strahlung direkt auf den Tumor gerichtet ist.

In einem ersten Experiment erhoben Grant und Spivey die Blickbewegungen von Versuchspersonen, die versuchten, das Strahlenproblem zu lösen. Die Versuchspersonen blickten auf eine Vorlage, in der Haut und Tumor schematisch dargestellt waren. Die Analyse der Blickbewegungen ergab, dass die Versuchspersonen, die das Problem später lösten, länger den Bereich der umgebenden Haut explorierten (siehe Abbildung 17) als die Versuchspersonen, die das Problem nicht lösten. In einem zweiten Experiment überprüften Grant und Spivey, ob dieser post-hoc gefundene Unterschied in der Aufmerksamkeitszuwendung genutzt werden kann, um die Lösungsraten für das Strahlenproblem zu beeinflussen. In einer Experimentalgruppe flimmerte der Tumor in der Aufgabenvorlage, während in einer zweiten Experimentalgruppe die umgebende Haut flimmerte. Aus der Aufmerksamkeitsforschung ist bekannt, dass solch ein Flimmern zu einer erhöhten Aufmerksamkeitszuwendung führt. Die Ergebnisse waren verblüffend. Die Lösungsraten für die Gruppe, in der die Haut flimmerte, waren fast doppelt so hoch wie in der Gruppe, in der der Tumor flimmerte, und wie in der Gruppe ohne Hinweise (Kontrollgruppe).

Dies ist umso überraschender, wenn man bedenkt, dass explizite Lösungshinweise beim Strahlenproblem zu deutlich geringeren Unterschieden führen (Gick & Holyoak, 1980, 1983). Bemerkenswert ist außerdem, dass die Versuchspersonen nicht berichten konnten, was ihnen zur Einsicht verhalf. Offenbar wurde durch die Verschiebung der Aufmerksamkeit an die für die Lösung kritische Stelle, die Einschränkung nur einen Laser zu verwenden, unbewusst aufgelöst. Es scheint also so, dass durch die gezielte Manipulation der Aufmerksamkeitszuwendung auf kritische Elemente in einer visuellen Problemvorlage eine Veränderung der Problemrepräsentation herbeigeführt werden kann, die den Problemlösern nicht bewusst wird.

Ein Experiment von Bowden (1997) unterstreicht die Bedeutsamkeit unbewusster Gedächtnisprozesse für die Lösung von Einsichtsproblemen. In diesem Experiment

lösten die Versuchspersonen Anagramme. Bei Anagrammen muss eine sinnlose Buchstabenfolge (z.B. TEHICNSI) in ein sinnvolles Wort verwandelt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sowohl bewusste Versuche, die Buchstaben anders anzuordnen, als auch unbewusste Gedächtnisprozesse die Lösung von Anagrammen herbeiführen können (Bowden, 1997). In letzterem Fall wird das Problem von einem Moment auf den anderen gelöst, die Lösung springt dem Problemlöser förmlich ins Auge (Novick & Sherman, 2003). Man kann davon ausgehen, dass solche Lösungen auf eine Veränderung der Problemrepräsentation zurückgehen, die durch unbewusste Gedächtnisprozesse zustande kommt (vgl. auch Ohlsson, 1984b).

Während die Versuchspersonen die Anagramme lösten, wurden wiederholt unterschwellige, also nicht identifizierbare, Primes dargeboten, die mit dem Lösungswort entweder semantisch verwandt waren (z.B. Tisch als Prime für Stuhl) oder nicht semantisch verwandt waren (z.B. Summe als Prime für Stuhl). Es zeigte sich, dass die Anagramme schneller gelöst wurden, wenn Primes dargeboten wurden, die semantisch mit der Lösung assoziiert waren. Darüber hinaus wurden die Versuchspersonen aufgefordert einzuschätzen, wie nahe sie sich der Lösung fühlten (Metcalfe & Wiebe, 1987; vgl. Abschnitt 3.3.1). Es fand sich, dass die Versuchspersonen bis kurz vor der Lösung nicht wussten, wie nahe sie der Lösung bereits gekommen waren, auch wenn semantisch verwandte Wörter als Primes dargeboten wurden. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass unterschwellig dargebotene Primes Gedächtnisinhalte aktivieren können, die für die Lösung eines Problems notwendig sind, ohne dass man dadurch das Gefühl hat, der Lösung näher zu kommen. Sobald die Aktivierung kritischer Gedächtnisinhalte eine bestimmte Schwelle überschreitet, werden diese in die Problemrepräsentation aufgenommen und die Lösung erscheint plötzlich im Bewusstsein.

Insgesamt spricht vieles dafür, dass Einsicht durch unbewusste Prozesse zustande kommt: Problemlöser können bei Einsichtsproblemen nicht angeben, wie weit sie mit der Lösung

fortgeschritten sind, unbewusst verarbeitete Lösungshinweise erleichtern die Lösung von Einsichtsproblemen und gleichzeitige Verbalisierung erschwert die Lösung von Einsichtsproblemen. Die im nächsten Abschnitt behandelten neurowissenschaftlich orientierten Studien liefern zusätzliche Evidenz für die unbewusste Natur der Einsicht.

3.4 Neurowissenschaftliche Ergebnisse zu Einsicht und Umstrukturierung

Bisher wurden nur wenige neurowissenschaftliche Untersuchungen zu Einsichtsphänomenen durchgeführt. Die meisten vorliegenden Untersuchungen testeten die Hypothese, dass die beiden Hirnhälften unterschiedliche Beiträge zum Problemlösen leisten. Diese Hypothese knüpft an die bekannte Hemisphärenasymmetrie zwischen Sprachverarbeitung und der Verarbeitung räumlicher Information an (Gazzaniga, 2000). Sie besagt, dass die Sprachverarbeitung vor allem in der linken Hirnhemisphäre lokalisiert ist, während die Verarbeitung räumlicher Information vor allem in der rechten Hirnhemisphäre lokalisiert ist (dies trifft nur für Rechtshänder zu, für Linkshänder gilt das Umgekehrte). Eine weitere, gängige Annahme ist, dass die Informationsverarbeitung in der rechten Hemisphäre unbewusst vor sich geht, während viele Aspekte der Informationsverarbeitung in der linken Hemisphäre bewusstseinsfähig sind (Beeman & Chiarello, 1998). Allerdings hat es sich nicht als sinnvoll erwiesen, strikt zwischen den Hirnhälften zu unterscheiden, da – zumindest bei gesunden Menschen – bei fast allen kognitiven Leistungen ein intensiver interhemisphärischer Austausch besteht (Gazzaniga, 2000).

Nichtsdestotrotz kann man von einer Dominanz der beiden Hemisphären für unterschiedliche kognitive Teilleistungen ausgehen. Im Bereich des Problemlösens gibt es einige Evidenz dafür (Fiore & Schooler, 1998), dass die schrittweise Lösung von Problemen vor allem in der linken Hemisphäre erfolgt. Diese Evidenz ist konsistent mit der Sprachdominanz und Bewusstseinsfähigkeit der Informationsverarbeitung in der

linken Hemisphäre, da die Probleme meistens sprachlich formuliert sind und durch die bewusste Anwendung logischer Regeln gelöst werden. Neuerdings gibt es Hinweise dafür, dass die rechte Hemisphäre eine kritische Rolle für die Lösung von Einsichtsproblemen spielt (Beeman & Chiarello, 1998; Bowden & Beeman, 1998; Bowden & Jung-Beeman, 2003; Fiore & Schooler, 1998). Dies könnte erklären, wieso Einsichten für den Problemlöser überraschend sind: Die eigentliche Umstrukturierung findet in der rechten Hemisphäre statt und wird dem Problemlöser erst dann bewusst, wenn ihr Ergebnis an die linke Hemisphäre übermittelt wird.

Der differentielle Beitrag der beiden Hemisphären zum Lösen von Einsichtsproblemen wurde von Bowden und Beeman (1998; vgl. auch Bowden & Jung-Beeman, 2003) empirisch untersucht. Sie boten ihren Versuchspersonen kurzzeitig die Lösung zu vorher bearbeiteten, aber nicht gelösten Einsichtsproblemen im rechten oder linken visuellen Halbfeld dar. Damit konnten sie feststellen, ob lösungsrelevantes Wissen in den unterschiedlichen Hirnhemisphären unterschiedlich stark aktiviert worden war (die visuelle Information in den beiden Gesichtsfeldern wird jeweils hauptsächlich von der kontralateralen Hemisphäre verarbeitet). Tatsächlich konnten die Versuchspersonen die Lösungen deutlich häufiger identifizieren, wenn sie im linken visuellen Halbfeld vorgegeben wurden und damit zunächst von der rechten Hemisphäre verarbeitet wurden. Daraus schlossen Bowden und Beeman, dass die lösungsrelevante Information in der rechten Hirnhemisphäre stärker aktiviert war. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich in den Experimenten von Fiore und Kollegen (1998).

Bowden und Beeman erklärten diese Unterschiede mit Hemisphärenunterschieden in der semantischen Kodierung. Während die linke Hemisphäre Bedeutung „eng“ kodiert, bestehen in der rechten Hemisphäre weite Assoziationsfelder (Beeman & Chiarello, 1998). Damit ist gemeint, dass die Aktivierung eines Konzeptes im semantischen Netzwerk der linken Hemisphäre nur wenige, eng benachbarte Konzepte mitaktiviert (z.B.

„Haus“ bei der Vorgabe von „Gebäude“). Die Aktivierung eines Konzeptes im semantischen Netzwerk der rechten Hemisphäre aktiviert dagegen auch sehr viele Konzepte geringer Ähnlichkeit mit (z.B. auch „Gedanke“ bei der Vorgabe von „Gebäude“, wie in „Gedankengebäude“). Bowden und Beeman spekulieren, dass die weiten Assoziationsfelder in der rechten Hirnhälfte eine wichtige Rolle bei der Veränderung von Problemrepräsentationen spielen können. Insbesondere können nicht beachtete Eigenschaften eines Konzepts, die bis dahin nur sehr schwach aktiviert waren, über einen Schwellwert gelangen und für die Lösung eines Problems in Betracht gezogen werden. In dem Moment, in dem der Schwellwert überschritten wird, findet die Veränderung der Problemrepräsentation statt und führt zu einem subjektiven Aha-Erleben.

Weitere Evidenz für diese Überlegungen liefert eine neuropsychologische Studie, die von Rauch (1977, zitiert nach Fiore & Schooler, 1998) durchgeführt wurde. Dieser verglich die Problemlösefähigkeiten von Patienten, die entweder rechts- oder linkshemisphärische Schädigungen erlitten hatten. Dabei fand er, dass Patienten mit rechtshemisphärischen Schädigungen sehr unflexibel waren und immer die gleiche Lösungsstrategie benutzten (perseverierten). Bei Patienten mit linkshemisphärischen Schädigungen ergab sich genau der umgekehrte Befund. Sie wendeten andauernd neue Lösungsstrategien an, selbst dann, wenn sie mit einer Lösung bei dem gleichen Problem schon erfolgreich gewesen waren. Auch diese Studie spricht dafür, dass der rechten Hirnhemisphäre eine besondere Bedeutung beim Generieren neuer Lösungsideen zukommen könnte.

Weitere Evidenz für diese Annahme liefert eine Studie von Luo und Niki (2003). Diese Autoren untersuchten die spezifisch beim Lösen von Einsichtsprozessen auftretenden Hirnaktivierungen mit Hilfe der funktionalen Magnetresonanz-Tomographie (fMRT). Ihre Versuchspersonen lösten Rätsel, in denen Fragen der folgenden Form gestellt wurden: „Was kann große Holzbalken bewegen, aber nicht einen kleinen Nagel?“. Vor

dem eigentlichen Experiment gaben die Versuchspersonen für jedes Problem an, ob sie die Antwort kannten (die Lösung ist „Fluss“), und ob sie die Frage für sinnvoll hielten oder nicht. Als Einsichtsprobleme wurden diejenigen Probleme definiert, bei der die Frage nicht für sinnvoll gehalten wurde und die Lösung nicht bekannt war. Als Nicht-Einsichtsprobleme wurden diejenigen Probleme definiert, bei denen die Frage für sinnvoll gehalten wurde und die Lösung nicht bekannt war.

Nur diese beiden Typen von Problemen wurden in das eigentliche Experiment miteinbezogen. In jedem Durchgang wurde ein Problem jeweils zunächst kurz vorgegeben (6 Sekunden). Gleich darauf wurde die Lösung präsentiert. Um die für Einsicht charakteristischen Hirnaktivierungen herauszufiltern, wurden die Hirnaktivierungen, die im Moment der Vorgabe der Lösung bei Nicht-Einsichts-Problemen auftraten, von den Hirnaktivierungen abgezogen, die im Moment der Vorgabe der Lösung bei Einsichtsproblemen auftraten.

Dabei ergab sich, dass der Hippocampus der rechten Hirnhemisphäre im Moment der Vorgabe der Lösung von Einsichtsproblemen deutlich stärker aktiviert war als im Moment der Vorgabe der Lösung von Nicht-Einsichts-Problemen. Beim Hippocampus handelt es sich um eine Hirnstruktur, die allgemein dafür bekannt ist, dass sie für die Einspeicherung und den Abruf von Informationen in und aus dem deklarativen Gedächtnis verantwortlich ist (McClelland, McNaughton & O'Reilly, 1995). Luo und Nicki diskutieren unterschiedliche Erklärungen dafür, wieso gerade diese Hirnstruktur bei der Vorgabe von Lösungen zu Einsichtsproblemen selektiv aktiv war. Es könnte sein, dass die zusätzliche Aktivierung die Stiftung neuer Assoziationen zwischen alten Konzepten widerspiegelt. Es wäre ebenfalls denkbar, dass sie das Aufheben einer mentalen Fixierung auf bestimmte inadäquate Annahmen reflektiert. Schließlich könnte die zusätzliche Aktivierung auch dadurch zustande kommen, dass ein neuer Referenzrahmen etabliert wird, innerhalb dessen nach einer Lösung gesucht wird.

Einen weiteren Hinweis darauf, dass der Hippocampus eine wichtige Rolle für Einsicht beim Problemlösen spielen könnte, gibt eine aktuelle Schlafstudie von Wagner und Kollegen (2004). In dieser Studie wurde eine Aufgabe verwendet, bei der einfache Zeichenfolgen vorgegeben wurden. Die Versuchspersonen mussten darauf mit einer Folge von Tastendrücken reagieren, die sich aus der Anwendung von Regeln auf jeweils zwei aufeinanderfolgende Symbole der Zeichenfolge bezogen. Die Zeichenfolgen waren so gewählt, dass sich die Aufgabe durch eine einfache Strategie deutlich erleichtern ließ. Die Versuchspersonen bearbeiteten eine Vielzahl dieser Aufgaben und es wurde gemessen, wie viele von ihnen diese Vereinfachungsstrategie entdeckten. Die Autoren gehen davon aus, dass an der plötzlichen Entdeckung der Vereinfachungsstrategie ähnliche Mechanismen beteiligt sind wie bei der plötzlichen Entdeckung der Lösung zu Einsichtsproblemen.

In einer ersten Sitzung lösten alle Versuchspersonen eine relative große Anzahl dieser Aufgaben. Danach schliefen die Versuchspersonen einer Experimentalgruppe für einige Stunden. Die Versuchspersonen in der Kontrollgruppe blieben für dieselbe Zeit wach. Gemessen wurde die Anzahl der Strategiewechsel, die bei der Bearbeitung weiterer Aufgaben nach der Unterbrechung auftraten. Dabei ergab sich, dass die Vereinfachungsstrategie in der „Schlafgruppe“ sehr viel häufiger entdeckt wurde als in der „Wachgruppe“. Die Autoren erklären diesen verblüffenden Effekt mit der Annahme, dass während des Schlafens im Hippocampus Konsolidierungsprozesse und Umstrukturierungsprozesse ablaufen, die zu einer Integration neu eingegangener Informationen mit schon länger im Gedächtnis gespeicherten Informationen führt. Durch diese Konsolidierung würde die Wahrscheinlichkeit eines Strategiewechsels erhöht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass neurowissenschaftliche Untersuchungen durchaus zu einem besseren Verständnis von Prozessen der Einsicht und Umstrukturierung führen können. Allerdings muss vor verfrühtem Optimismus gewarnt

werden. Die Aufgaben, die bei den beschriebenen Studien verwendet wurden, waren keine klassischen Einsichtsprobleme und die Lösungen wurden oft in der einen oder anderen Form verraten. Es ist deshalb nicht klar, ob die Ergebnisse tatsächlich die Prozesse reflektieren, die ablaufen, wenn Problemlöser selbst eine plötzliche Lösungsidee generieren. Es bleibt zu hoffen, dass es bald gelingen wird, neurowissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, die einen noch direkteren Aufschluss über die neuronalen Prozesse geben können, die zur Generierung plötzlicher Lösungsideen beim Problemlösen führen.

3.5 Weitere Aspekte von Einsicht und verwandte Phänomene

In diesem Abschnitt wollen wir noch auf einige weitere Aspekte von Umstrukturierung und Einsicht eingehen, die bisher nicht behandelt wurden. Außerdem sollen einige Phänomene besprochen werden, die oft im Zusammenhang mit Einsicht diskutiert werden. Ziel dieses Abschnitts ist es nicht, diese Phänomene umfassend zu behandeln. Vielmehr sollen interessierte Leser auf entsprechende weiterführende Literatur hingewiesen werden.

3.5.1 Emotionale Aspekte von Einsicht

An mehreren Stellen wurde schon betont, dass Einsichten zu positiven Emotionen führen und als motivierend erlebt werden (vgl. Ohlsson, 1984b). Wenn die Lösung nicht selbst gefunden wurde und die Lösung erzählt wird, reagieren die Problemlöser häufig mit Lachen, haben oft auch das Gefühl, ausgetrickst worden zu sein (Gick & Lockhart, 1995). Es gibt bisher keine Untersuchungen, die Aufschluss über die emotionalen und motivationalen Konsequenzen von Einsichten geben. Man kann nur spekulieren, dass die besondere emotionale Färbung von Einsichten durch die enge Verbindung von

Hirnstrukturen zustande kommt, die Umstrukturierungen (z.B. Hippocampus) und emotionaler Bewertung (z.B. Amygdala) zugrunde liegen (Öllinger, 2004).

Dagegen wurden schon einige Untersuchungen zu der Frage durchgeführt, wie unterschiedliche affektive Faktoren die Lösungshäufigkeit von Einsichtsproblemen beeinflussen. In dem überwiegenden Teil dieser Untersuchungen zeigte sich, dass positive Stimmung die Wahrscheinlichkeit erhöht, Einsichtsprobleme zu lösen (Friedman & Foerster, 2000, 2001, 2002; Isen, Daubman & Nowicki, 1987). Dieses Ergebnis wird durch die Annahme erklärt, dass positive Stimmung zu einer Defokussierung von Aufmerksamkeit führt, so dass Problemlöser nicht an einem spezifischen Lösungsansatz hängen bleiben, sondern flexibel neue Lösungsansätze generieren können (vgl. auch Bolte, Goschke & Kuhl, 2003). Allerdings wurden auch schon gegenteilige Effekte berichtet. Kaufmann & Vosburg (1997) fanden, dass positive Stimmung die Lösung von Einsichtsproblemen behindert. Möglicherweise kommen die inkonsistenten Ergebnisse durch Unterschiede bei den verwendeten „Einsichtsproblemen“ zustande. Deshalb sind weitere Untersuchungen nötig, um festzustellen, ob die Stimmung des Problemlösers die Wahrscheinlichkeit von Einsicht und Umstrukturierung tatsächlich beeinflusst. Friedman und Förster (2001) diskutieren mögliche motivationale Moderatoren für solche Stimmungseffekte.

3.5.2 Intuition und Einsicht

Die in Abschnitt 3.3.1 behandelten Studien von Metcalfe und Kollegen (Metcalfe, 1986a, 1986b; Metcalfe & Wiebe, 1987) zeigen, dass Problemlöser bei der Lösung von Einsichtsproblemen kein verlässliches Gefühl dafür haben, wie nahe sie der Lösung sind. Daraus schloss Metcalfe, dass es bei der Lösung von Einsichtsproblemen zu einer radikalen Umstrukturierung im Sinne der Gestaltpsychologen kommt, die die Wahrnehmung des Problems plötzlich schlagartig verändert. Eine andere Möglichkeit

dieses Phänomen zu erklären, ist, dass unbewusste Aktivierungsprozesse graduell Information akkumulieren, die in der Folge zu einer Veränderung der Problemrepräsentation führt (Ohlsson, 1992; Bowden, 1997; Knoblich, Ohlsson et al., 2001; Ohlsson, 1992).

Bowers und Kollegen (Bowers, Regehr, Balthazard et al., 1990; Bowers, Farvolden & Mermigis, 1995) vermuten, dass eine solche unbewusste Informationsakkumulation zu Intuitionen führt, die Aspekte der Problemlösung vorwegnehmen. Intuition wird operationalisiert als die Fähigkeit, überzufällig korrekte Urteile über nicht bewusst verarbeitete Stimulusmerkmale abzugeben (Bolte, Goschke et al., 2003). Außerdem wird angenommen, dass Intuitionen den Problemlöseprozess in eine bestimmte Richtung leiten können, die Kohärenzen zwischen den kritischen Elementen der Problemsituation stiftet (Bowers, Farvolden et al., 1995).

Bowers und Kollegen (1990) konnten in mehreren Experimenten bestätigen, dass Versuchspersonen tatsächlich in der Lage waren intuitive Urteile abzugeben, ohne die Lösung einer Aufgabe letztlich entdeckt zu haben. In einem Experiment zeigten sie den Versuchspersonen unvollständige Zeichnungen von Objekten. Die dargestellten Objekte waren so unvollständig, dass die Versuchspersonen meistens nicht angeben konnten, um welches Objekt es sich handelte. Nachdem die Versuchspersonen die Zeichnungen eine Zeit lang betrachtet hatten – das Objekt dabei aber nicht identifizieren konnten –, wurde ihnen eine Liste mit mehreren Namen von Objekten dargeboten. Die Versuchspersonen sollten danach „intuitiv“ angeben, welches Objekt in der Zeichnung dargestellt war. Dabei zeigte sich, dass die Versuchspersonen tatsächlich überzufällig die Bezeichnung für das in der Zeichnung dargestellte Objekt auswählten. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich für intuitive Kohärenzurteile über entfernt assoziierte Begriffe. Eine neuere Untersuchung von Bolte und Kollegen (Bolte, Goschke et al., 2003) zeigt, dass die Genauigkeit solcher intuitiver Urteile deutlich höher ist, wenn Personen positiv gestimmt sind.

Ein Problem der bisherigen Untersuchungen zu intuitiven Urteilen ist sicherlich, dass fast ausschließlich Wahrnehmungs- oder Gedächtnisaufgaben verwendet wurden, bei denen Problemlöseprozesse eine vollkommen untergeordnete Rolle spielen. Daher steht der direkte Nachweis, dass einer Einsicht korrekte Intuitionen vorangehen, noch aus. Allerdings stellt die von Bowers und Kollegen (1990; 1995) vorgeschlagene Beeinflussung des Problemlöseprozesses durch ein korrektes Kohärenzempfinden einen interessanten Mechanismus dar, der erklären könnte, wie lösungsrelevante Veränderungen der Problemrepräsentation zustande kommen.

3.5.3 Inkubation

Unter Inkubation versteht man das Phänomen, dass die Wahrscheinlichkeit, ein Problem zu lösen, ansteigt, wenn man die Arbeit an dem Problem unterbricht (Dorfman, Shames & Kihlstrom, 1996; Ohlsson, 1992; Wallas, 1926; Yaniv & Meyer, 1987). Viele Anekdoten berichten von solchen Erlebnissen berühmter Künstler und Wissenschaftler (Boden, 1991; Gruber, 1995; Koestler, 1964; Woodworth & Schlosberg, 1954). Simon (1966) schlug folgende Erklärung für Inkubation vor: Wenn die Arbeit an einem Problem unterbrochen wird, dann werden die zuletzt aufgesuchten Zustände des Problems, die nicht zur Lösung führten, vergessen. Gleichzeitig können während einer Pause hilfreiche Hinweise in der Umgebung angetroffen werden. Beides führt dazu, dass die Suche nach der Pause an einer anderen Stelle des Problemraums fortgesetzt wird, die vielleicht eher zum Erfolg führt.

Smith und Blankenship (Smith, 1995a, 1995b; Smith & Blankenship, 1989; Smith & Blankenship, 1991) führten eine Reihe von Experimenten zu Inkubationseffekten durch. Auch sie gehen davon aus, dass es sich bei Inkubation um ein Gedächtnisphänomen handelt. Demzufolge erhöht jeder Zugriff auf ein Gedächtniselement dessen Aktivierung.

Die stärkere Aktivierung erhöht wiederum die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Element abgerufen wird. Ein erneuter Abruf erhöht die Aktivierung des Elementes weiter usw. Durch diesen Mechanismus beim wiederholten Gedächtnisabruf können Problemlöser in „mentale Furchen“ geraten, wenn sie versuchen, Informationen aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen (Smith, 1995a). In Pausen klingt diese Aktivierung ab und die Wahrscheinlichkeit, neue Elemente zu finden, steigt an. Einen guten Überblick zu Inkubationseffekten geben Dorfman und Kollegen (1996).

3.5.4 Einstellungseffekte

Luchins und Luchins (1959; Luchins, 1942) zeigten, dass die wiederholte Lösung von Problemen mit derselben Lösungsmethode die Entdeckung einfacherer Lösungsmethoden verhindern kann. Dieses Phänomen bezeichneten sie als Einstellung (mental set). In ihren berühmten Experimenten mit Wasserumschüttaufgaben wurden Problemlöser typischerweise mit einer Reihe von Aufgaben mit drei Wasserkrügen unterschiedlicher Größe konfrontiert. Das Ziel bei diesen Aufgaben war es, durch das Umschütten von Wasser zwischen den drei Krügen eine vorgegebene Menge von Wasser in einem der Krüge herzustellen (z.B. 100). Die Problemlöser bearbeiteten dabei zunächst eine Reihe von „Einstellungsproblemen“, die sich alle auf die gleiche Art lösen ließen: Fülle den großen in der Mitte stehenden Krug (z.B. 127), befülle von diesem ausgehend zweimal den kleineren, rechts davon stehenden Krug (z.B. 3) und einmal den kleineren und links davon stehenden Krug (z.B. 21). Auf diese Reihe von Einstellungsproblemen folgte ein sogenanntes „Testproblem“, das sich in derselben Weise lösen ließ, aber auch erheblich einfacher gelöst werden konnte. Z.B. war die gewünschte Menge 20. Das Volumen der Krüge betrug 23, 49, 3 für den linken, mittleren und rechten Krug. Die Aufgabe konnte nun folgendermaßen gelöst werden: Befülle zunächst den linken Krug (23) mit

Flüssigkeit und befülle im Anschluss daran von diesem ausgehend einmal den rechten Krug, womit das Problem bereits gelöst ist. Problemlöser, die zunächst die Einstellungsprobleme gelöst hatten, wendeten auch bei den einfachen Testproblemen die komplexe Lösungsmethode an, die bei den Einstellungsproblemen erfolgreich gewesen war – was, wie der Leser leicht überprüfen kann, ebenfalls zur gewünschten Lösung führt. Problemlöser, die keine Einstellungsprobleme gelöst hatten (Kontrollgruppe), wählten fast immer spontan die einfachere Lösungsmethode aus.

Luchins und Luchins (1959) erklärten Einstellung mit der Annahme, dass die reproduktive Verwendung derselben Methode zu einer Fixierung auf diese Methode führt und so Einsicht in die Problemstruktur verhindert.

Neuere kognitive Modelle gehen davon aus, dass Einsichtsphänomene und Einstellungsphänomene durch das Wirken unterschiedlicher kognitiver Prozesse zustande kommen. Erklärungen für Einsichtsphänomene wurden in den vorhergehenden Abschnitten schon ausführlich behandelt (siehe Abschnitt 3.2). Kognitive Modelle für Einstellungseffekte postulieren, dass die häufige Benutzung derselben kognitiven Prozedur zu einer erhöhten Aktivierung und damit zu einer schnelleren Abrufbarkeit dieser Prozedur führt (Lovett & Anderson, 1996; Ohlsson, 1992). Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit des Abrufs anderer, möglicherweise einfacherer Prozeduren verringert. Einstellungseffekte können sich jedoch auch über eine längere Zeit hinweg entwickeln (vgl. auch die Studien zur „Berufsblindheit“ von Experten, Wiley, 1998).

3.5.5 Strategiewechsel

Manche Autoren im Bereich des Fertigkeitserwerbs gehen davon aus, dass Einsichtsphänomene auch dann auftreten können, wenn Problemlöser bei der wiederholten Lösung von Aufgaben desselben Typs neue Strategien zur Vereinfachung der Bearbeitung dieser Aufgaben entdecken (Haider & Frensch, 1996, 2002; Siegler,

2000; Siegler & Stern, 1998). So fanden Haider und Frensch (1996), dass die nicht benötigte Information in der Aufgabenvorlage vernachlässigt wird (vgl. auch Klauer, 1993). Solche Lernfortschritte haben aber nicht zwangsläufig einen graduellen Verlauf, wie das Potenzgesetz des Lernens (Fitts & Posner, 1967) vermuten lassen würde (Haider & Frensch, 2002). Betrachtet man die individuellen Lernkurven einzelner Versuchsteilnehmer näher, so ergeben sich oft deutliche *Diskontinuitäten* im Lernverlauf. Diese deuten darauf hin, dass die Teilnehmer ziemlich abrupt die Strategie wechseln (siehe auch die Schlafstudie von Wagner et al., 2004, im Abschnitt 3.4).

Haider und Frensch (2002) vermuten, dass solche Strategiewechsel darauf beruhen, dass zunächst unbewusst Information akkumuliert wird, die auf die neue Strategie hinweist. In dem Moment, in dem diese Information bewusst wird, wechseln die Versuchspersonen schlagartig auf die neue Strategie und haben, ähnlich wie beim Lösen von Einsichtsproblemen, ein Aha-Erlebnis. Eine ähnliche Auffassung vertritt Siegler (Siegler, 2000; Siegler & Stern, 1998) für Strategiewechsel im Entwicklungsverlauf. Kinder im Grundschulalter scheinen sogar neue Strategien eine Zeitlang unbewusst anzuwenden.

Im Moment ist aber noch nicht klar, ob Strategiewechseln dieselben Prozesse zugrunde liegen wie Einsichten beim Problemlösen. Es wäre aber durchaus möglich, dass sich Veränderungen in einer Problemrepräsentation sowohl bei der Bearbeitung eines schwierigen Problems ergeben können als auch bei der wiederholten Bearbeitung einfacher Aufgaben. Die Veränderungen könnten im ersten Fall die Lösung von Problemen und im zweiten Fall die Entdeckung einfacherer Strategien ermöglichen.

3.5.6 Gebrauch von Analogien beim Problemlösen

Ein letztes für die Forschung zur Einsicht relevantes Gebiet ist die Untersuchung des Gebrauchs von Analogien beim Problemlösen (z.B. Gentner, Holyoak, & Kokinov, 2001; Holyoak & Thagard, 1995; Hummel & Holyoak, 1997, 2003).

In der Psychologie wurden einfache Analogieaufgaben zunächst zur Diagnose von Fähigkeiten induktiven Schließens in Subskalen einzelner Intelligenztests eingesetzt. Später wurde die Lösung solcher Aufgaben auch aus der Perspektive der Kognitionspsychologie analysiert (Klix, 1971). In neuerer Zeit wurde insbesondere der analoge Transfer zwischen Problemen in unterschiedlichen Wissensdomänen untersucht.

Die zentrale Frage dieser Untersuchungen ist es, wie Problemstrukturen aus einer bekannten Wissensdomäne (der *Quelldomäne*) auf die Lösung von Problemen in einer neuen Wissensdomäne (der *Zieldomäne*) übertragen werden können. Dafür werden zwei zentrale Prozesse postuliert: Zum einen der *Abruf* einer analogen Struktur aus dem Gedächtnis und zum anderen das Herstellen einer *Abbildung* zwischen der abgerufenen Struktur und der Struktur des vorliegenden Problems. Beim Abruf werden schon bestehende und erfolgreich erprobte Problemlösungen aus anderen Wissensbereichen aktiviert, die für die Lösung des aktuellen Problems relevant sein könnten. Bei der Abbildung werden die Elemente oder Konzepte des Zielproblems auf die Elemente oder Konzepte des analogen Quellproblems abgebildet, so dass die Relationen zwischen den Elementen des Zielproblems den Relationen zwischen den Elementen des Quellproblems entsprechen (z.B. Sonnensystem und Aufbau des Atoms, das Elektron umkreist den Atomkern wie die Planeten die Sonne). Danach kann die Lösung des Quellproblems auf die Lösung des Zielproblems übertragen werden.

In vielen Untersuchungen (z.B. Gick & Holyoak, 1980, 1983; Holyoak & Koh, 1987; Keane, 1997; Markman & Gentner, 1993) hat sich gezeigt, dass der Abruf früherer Problemlösungen oft von der *Oberflächenähnlichkeit* zwischen Quell- und Zielproblem bestimmt wird. Unter Oberflächenähnlichkeit versteht man, dass eine konkrete Ähnlichkeit zwischen den Elementen der beiden Probleme besteht. So könnte man z.B. beim Lösen einer Streichholzaufgabe Lösungen zu anderen Aufgaben abrufen, in denen Streichhölzer vorkommen. Zentral für den sinnvollen Gebrauch von Analogien ist aber

der Abruf von Lösungen zu *strukturell ähnlichen* Problemen, bei denen eine Ähnlichkeit in den Relationen zwischen Problemelementen besteht, auch wenn die Problemelemente selbst vollkommen unähnlich sind. Dies wäre z.B. der Fall, wenn man bei der Lösung eines medizinischen Problems Problemlösungen aus dem Bereich militärischer Strategien abrufen würde. So untersuchten Gick und Holyoak (1980; 1983), inwiefern die Vorgabe einer Geschichte, bei der ein General eine Burg erobert, die Lösung des strukturell identischen Strahlenproblems von Duncker (1935; siehe Abschnitt 2.3) vereinfachte.

Der Abruf von Lösungen zu strukturell ähnlichen Problemen lässt sich als ein weiterer Prozess verstehen, der zur erfolgreichen Veränderung einer unvollständigen Problemrepräsentation führen kann, die zunächst keine Lösung zulässt. Das Gewahrwerden einer früheren Lösung, die sich analog auf das vorliegende Problem übertragen lässt, kann ebenfalls von einem subjektiven Aha-Erleben begleitet sein. Allerdings gibt es bisher kaum Querverbindungen zwischen der Forschung zu Einsichtsphänomenen und der Forschung zum analogen Schließen. Es bleibt zu hoffen, dass dieser Bezug in der zukünftigen Forschung wieder stärker hergestellt wird, da schon Wertheimer (1945/1959, siehe Abschnitt 2.4) darauf hinwies, dass Einsicht in die strukturelle Organisation einer Problemsituation auch zur Einsicht in eine neue Problemsituationen führen kann, in der die Elemente ähnlich organisiert sind (vgl. Mayer, 1995).

Fazit

Plötzliche Einsichten beim Lösen schwieriger Probleme stellen ein Phänomen dar, das die Menschheit schon lange fasziniert hat. Die Gestaltpsychologen begannen als erste mit der wissenschaftlichen Untersuchung dieses Phänomens. Sie dachten, dass Einsicht durch eine Umstrukturierung der Problemsituation zustande kommt. Dabei werden alle Relationen zwischen Problemelementen schlagartig verändert und es entsteht eine bessere Balance zwischen den „Kräften“ in der gegebenen Situation. Kognitionspsychologische Erklärungen von Einsicht haben verschiedene Erweiterungen der Problemraumtheorie vorgeschlagen. Eine Annahme ist, dass manche Probleme zunächst in einer Weise repräsentiert werden, die keine Lösung zulässt, und dass eine Veränderung der Problemrepräsentation erfolgen muss. Eine andere Annahme ist, dass der Gebrauch unpassender Heuristiken zunächst die Lösung verhindert. Eine aktuelle Herausforderung für die Einsichtforschung ist die Entwicklung weiterer experimenteller Paradigmen, die eine Untersuchung der Einsichtphänomenen zugrunde liegenden neuronalen Prozesse ermöglichen.

Literatur

- Adamson, R. E. (1952). "Functional fixedness as related to problem solving: a repetition of three experiments." Journal of Experimental Psychology, 44, 288-291.
- Anderson, J. R. (1993). Rules of the mind. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1995). Cognitive psychology and its implications (4th ed.). New York: Freeman.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). The atomic components of thought. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Atwood, M. E. & Polson, P. G. (1976). "A process model for water jug problems." Cognitive Psychology, 8, 191-216.
- Beeman, M. & Chiarello, C., (Eds.) (1998). Right hemisphere language comprehension: Perspectives from cognitive neuroscience. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Birch, H. G. & Rabinowitz, H. S. (1951). "The negative effect of previous experience on productive thinking." Journal of Experimental Psychology, 41, 121-125.
- Boden, M. A. (1991). The creative mind: Myths & mechanisms. New York: Basic Books.
- Bolte, A., Goschke, T. & Kuhl, J. (2003). "Emotion and intuition: Effects of positive and negative mood on implicit judgments of semantic coherence." Psychological Science, 14, 416-421.
- Bowden, E. M. (1997). "The effect of reportable and unreportable hints on anagram solution and the aha! experience." Consciousness & Cognition, 6, 545-573.

- Bowden, E. M. & Beeman, M. J. (1998). "Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems." Psychological Science, 9, 435-440.
- Bowden, E. M. & Jung-Beeman, M. (2003). "Aha! - Insight experience correlates with solution activation in the right hemisphere." Psychonomic Bulletin & Review, 10, 730-737.
- Bowers, K. S., Farvolden, P. & Mermigis, L. (1995). Intuitive antecedents of insight. In: Smith, S. M., Ward, T. B. & Finke, R. A. (Eds.), The creative cognition approach (S. 27-52). Cambridge, MA: MIT Press.
- Bowers, K. S., Regehr, G., Balthazard, C. & Parker, K. (1990). "Intuition in the context of discovery." Cognitive Psychology, 22, 72-110.
- Bühler, K. (1907). "Tatsachen und Probleme zu einer Psychologie der Denkvorgänge." Archiv für Psychologie, 9, 297-365.
- Bühler, K. (1907). Tatsachen und Probleme zu einer Psychologie der Denkvorgänge. Leipzig: Engelmann.
- Csikszentmihaly, M. & Sawyer, K. (1995). Creative Insight: The social dimension of a solitary moment. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 329-363). Cambridge, MA: MIT Press.
- Chronicle, E. P., MacGregor, J. N. & Ormerod, T. C. (2004). "What Makes an Insight Problem? The Roles of Heuristics, Goal Conception, and Solution Recoding in Knowledge-Lean Problems." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition January, 30, 14-27.

- Davidson, J. E. (1995). The suddenness of insight. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 125-155). Cambridge, MA: MIT Press.
- Davidson, J. E. (2003). Insights about insightful problem solving. In: Davidson, J. E. & Sternberg, R. J. (Eds.), The Psychology of Problem Solving (S. 149-175). Cambridge: Cambridge University Press.
- Defeyter, M. A. & German, T. P. (2003). "Acquiring an understanding of design: evidence from children's insight problem solving." Cognition, 89, 133-155.
- Deffner, G. (1989). "Interaction of thinking aloud, solution strategies and task characteristics? An experimental test of the Ericsson and Simon model
Interaktion zwischen Lautem Denken, Bearbeitungsstrategien und Aufgabenmerkmalen? Eine experimentelle Pruefung des Modells von Ericsson und Simon." Sprache & Kognition, 8, 98-111.
- Dominowski, R. L. (1995). Productive problem solving. In: Smith, S. M., Ward, T. B. & Finke, R. A. (Eds.), The creative cognition approach (S. 73-95). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dominowski, R. L. & Dallob, P. (1995). Insight and problem solving. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 33-62). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Dorfman, J., Shames, V. A. & Kihlstrom, J. F. (1996). Intuition, incubation, and insight: Implicit cognition in problem solving. In: Underwood, G. D. M. (Eds.), Implicit Cognition (S. 257-296). Oxford: The Oxford University Press.
- Dörner, D. (1974). Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Bern, Stuttgart, Wien: Huber.

- Duncker, K. (1926). "A qualitative (experimental and theoretical) study of productive thinking (solving of comprehensible problems)." Pedagogical Seminary, 33, 642-708.
- Duncker, K. (1935). Zur Psychologie des Produktiven Denkens. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag.
- Duncker, K. (1945). "On problem-solving." Psychological Monographs, 58, ix, 113.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1984). Protocol analysis: Verbal reports as data. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). Protocol analysis: Verbal reports as data (rev. ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ernst, G. W. & Newell, A. (1969). GPS: A case study in generality and problem solving. New York: Academic Press.
- Finke, R. A. (1995). Creative insight and preinventive forms. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 255-280). Cambridge, MA: MIT Press.
- Fiore, S. M. & Schooler, J. W. (1998). Right hemisphere contributions to creative problem solving: Converging evidence for divergent thinking. In: Beeman, M. & Chiarello, C. (Eds.), Right hemisphere language comprehension: Perspectives from cognitive neuroscience (S. 349-371). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). Human performance. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Friedman, R. S. & Foerster, J. (2000). "The effects of approach and avoidance motor actions on the elements of creative insight." Journal of Personality & Social Psychology, 79, 477-492.

- Friedman, R. S. & Foerster, J. (2001). "The effects of promotion and prevention cues on creativity." Journal of Personality & Social Psychology, 81, 41-55.
- Friedman, R. S. & Foerster, J. (2002). "The influence of approach and avoidance motor actions on creative cognition." Journal of Experimental Social Psychology, 38, 41-55.
- Funke, J. (2003). Problemlösendes Denken. Stuttgart: Kohlhammer.
- Gazzaniga, M. S., Ed. (2000). The new cognitive neurosciences (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gentner, D., Holyoak, K. J. & Kokinov, B. N. (2001). The analogical mind: Perspectives from cognitive science. Cambridge, MA: MIT-Press.
- German, T. P. & Defeyter, M. A. (2000). "Immunity to functional fixedness in young children." Psychonomic Bulletin & Review, 7, 707-712.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1980). "Analogical problem solving." Cognitive Psychology, 12(3), 306-355.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1983). "Schema induction and analogical transfer." Cognitive Psychology, 15(1), 1-38.
- Gick, M. L. & Lockhart, R. S. (1995). Cognitive and affective components of insight. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 197-228). Cambridge, MA: MIT Press.
- Grant, E. R. & Spivey, M. J. (2003). "Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought." Psychological Science, 14, 462-466.

- Gruber, H. E. (1995). Insight and affect in the history of science. In: Sternberg, Robert J. Davidson, Janet E. (Eds.), The nature of insight (S. 397-431) Cambridge, MA: MIT Press.
- Haider, H. & Frensch, P. A. (1996). "The role of information reduction in skill acquisition." Cognitive Psychology, 30, 304-337.
- Haider, H. & Frensch, P. A. (2002). "Why aggregated learning follows the power law of practice when individual learning does not: Comment on Rickard (1997, 1999), Delaney et al. (1998), and Palmieri (1999)." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 28, 392-406.
- Helmholtz, H. v. (1896). Vorträge und Reden. Brunswick: Friedrich Vieweg und Sohn.
- Holyoak, K. J. & Koh, K. (1987). "Surface and structural similarity in analogical transfer." Memory & Cognition, 15, 332-340.
- Holyoak, K. J. & Thagard, P. (1995). Mental leaps: Analogy in creative thought. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hummel, J. E. & Holyoak, K. J. (1997). "Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping." Psychological Review, 104, 427-466.
- Hummel, J. E. & Holyoak, K. J. (2003). "A symbolic-connectionist theory of relational inference and generalization." Psychological Review, 110, 220-264.
- Isen, A. M., Daubman, K. A. & Nowicki, G. P. (1987). "Positive affect facilitates creative problem solving." Journal of Personality & Social Psychology, 52, 1122-1131.
- Jones, G. (2003). "Testing two cognitive theories of insight." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 29, 1017-1027.

- Kaplan, C. A. & Simon, H. A. (1990). "In search of insight." Cognitive Psychology, 22, 374-419.
- Kaufmann, G. & Vosburg, S. K. (1997). "'Paradoxical' mood effects on creative problem-solving." Cognition & Emotion, 11, 151-170.
- Keane, M. T. (1997). "What makes an analogy difficult? The effects of order and causal structure on analogical mapping." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 23, 946-967.
- Kershaw, T. C. & Ohlsson, S. (2004). "Multiple Causes of Difficulty in Insight: The Case of the Nine-Dot Problem." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition January, 30, 3-13.
- King, D. B., Cox, M. & Wertheimer, M. (1998). Karl Duncker: Productive problems with beautiful solutions. In: Kimble, A. & Wertheimer, M. (Eds.), Portraits of Pioneers in Psychology : Volume III (S. 163-178). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Klauer, K. C. (1993). Belastung und Entlastung beim Problemlösen: Eine Theorie des deklarativen Vereinfachens. Göttingen: Hogrefe.
- Klix, F. (1971). Information und Verhalten. Bern: Huber.
- Knoblich, G. (2002). Problemlösen und logisches Schließen. In: Müsseler, J. & Prinz, W. (Eds.), Allgemeine Psychologie (S. 645-699). Heidelberg-Berlin: Spektrum, Akad. Verl.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H. & Rhenius, D. (1999). "Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition, 25, 1534-1555.

- Knoblich, G., Ohlsson, S. & Raney, G. E. (2001). "An eye movement study of insight problem solving." Memory & Cognition, 29, 1000-1009.
- Knoblich, G. & Rhenius, D. (1995). "Zur Reaktivität Lauten Denkens beim komplexen Problemlösen." Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, XLII, 419-454.
- Knoblich, G. & Wartenberg, F. (1998). "Unbemerkte Loesungshinweise beguenstigen Veraenderungen der Problemrepraesentation." Zeitschrift für Psychologie, 206, 207-234.
- Koestler, A. (1964). The act of creation. New York: Macmillian.
- Kokinov, B. N. & Petrov, A. A. (2001). Integrating memory and reasoning in analogy-making: The AMBR model. In: Gentner, D., Holyoak, K. J. & Kokinov, B. N. (Eds.), The analogical mind: Perspectives from cognitive science (S. 59-124). Cambridge, MA: MIT Press.
- Koffka, K. (1935). Principles of Gestalt psychology. New York: Harcourt, Brace und World.
- Köhler, W. (1921). Intelligenzprüfungen am Menschenaffen. Berlin: Springer.
- Lindsay, P. H. & Norman, D. A. (1981). Einführung in die Psychologie. Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag.
- Lovett, M. C. & Anderson, J. R. (1996). "History of success and current context in problem solving: Combined influences on operator selection." Cognitive Psychology, 31, 168-217.
- Luchins, A. S. (1942). "Mechanization in problem solving--the effect of Einstellung." Psychological Monographs, 54, 1-95.

- Luchins, A. S. & Luchins, E. H. (1959). Rigidity of behavior: A variational approach to the effect of Einstellung. Eugene, OR: University of Oregon Books.
- Lung, C.-T. & Dominowski, R. L. (1985). "Effects of strategy instructions and practice on nine-dot problem solving." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 11, 804-811.
- Luo, J. & Niki, K. (2003). "Function of hippocampus in "insight" of problem solving." Hippocampus, 13, 316-323.
- MacGregor, J. N., Ormerod, T. C. & Chronicle, E. P. (2001). "Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and related problems." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 27, 176-201.
- Maier, N. R. F. (1930). "Reasoning in humans. I. On direction." Journal of Comparative Psychology, 10, 115-143.
- Maier, N. R. F. (1931). "Reasoning in humans. II. The solution of a problem and its appearance in consciousness." Journal of Comparative Psychology, 12, 181-194.
- Markman, A. B. & Gentner, D. (1993). "Structural alignment during similarity comparisons." Cognitive Psychology, 25, 431-467.
- Mayer, R. E. (1992). Thinking, problem solving, cognition (2nd ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with Gestalt psychology's unanswered questions. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 3-32). Cambridge, MA: MIT Press.

- McClelland, J. L., McNaughton, B. L. & O'Reilly, R. C. (1995). "Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory." Psychological Review, 102, 419-457.
- Metcalf, J. (1986a). "Feeling of knowing in memory and problem solving." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 12, 288-294.
- Metcalf, J. (1986b). "Premonitions of insight predict impending error." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 12, 623-634.
- Metcalf, J. & Wiebe, D. (1987). "Intuition in insight and noninsight problem solving." Memory & Cognition, 15, 238-246.
- Miller, G. A. (1956). "The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information." Psychological Review, 63, 81-93.
- Newell, A., Shaw, J. C. & Simon, H. A. (1958). "Elements of a theory of human problem solving." Psychological Review, 65, 151-166.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). Human problem solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). "Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes." Psychological Review, 84, 231-259.
- Novick, L. R., and Sherman, S.J. (2003). "On the nature of insight solutions: Evidence from skill differences in anagram solution." QUARTERLY JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY SECTION A-HUMAN EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY, 56, 351-382.

- Ohlsson, S. (1984a). "Restructuring revisited: I. Summary and critique of the Gestalt theory of problem solving." Scandinavian Journal of Psychology, 25, 65-78.
- Ohlsson, S. (1984b). "Restructuring revisited: II. An information processing theory of restructuring and insight." Scandinavian Journal of Psychology, 25, 117-129.
- Ohlsson, S. (1992). Information-processing explanations of insight and related phenomena. In: Keane, M. & Gilhooly, K. (Eds.), Advances in the psychology of thinking (S. 1-44). London: Harvester-Wheatsheaf.
- Öllinger, M. (2004). Untersuchungen über den Einfluss von Einstellungseffekten und Heuristiken beim Lösen von Einsichtsproblemen (unveröffentlichte Dissertation). LMU München: Fachbereich Psychologie.
- Ormerod, T. C., MacGregor, J. N. & Chronicle, E. P. (2002). "Dynamics and constraints in insight problem solving." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 28, 791-799.
- Perkins, D. (1981). The mind's best work. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Poincaré, H. (1952). Science and Method. New York: Dover.
- Rauch, R. (1977). "Cognitive strategies in patients with unilateral temporal lobe excisions." Neuropsychologia, 15, 385-396.
- Roth, E. (1998). Intelligenz. Stuttgart: Kohlhammer.
- Scheerer, M. (1963). "Problem-Solving." Scientific American, 208, 118-128.
- Schmid, U. (2002). Computermodelle des Problemlösens. In: Müsseler, J. & Prinz, W. (Eds.), Allgemeine Psychologie (S. 701-733). Heidelberg-Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

- Schooler, J. W., Ohlsson, S. & Brooks, K. (1993). "Thoughts beyond words: When language overshadows insight." Journal of Experimental Psychology: General, 122, 166-183.
- Selz, O. (1913). Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufs. Stuttgart: Spemann.
- Siegler, R. S. (2000). "Unconscious Insight." Current Directions in Psychological Science, 9, 79-83.
- Siegler, R. S. & Stern, E. (1998). "Conscious and unconscious strategy discoveries: A microgenetic analysis." Journal of Experimental Psychology: General, 127, 377-397.
- Simon, H. A. (1966). Scientific discovery and the psychology of problem solving. In: Colodny, R. (Eds.), Mind and Cosmos (S. 22-40). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Smith, S. M. (1995a). Getting into and out of mental ruts: A theory of fixation, incubation, and insight. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 229-251). Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, S. M. (1995b). Fixation, incubation, and insight in memory and creative thinking. In: Smith, S. M. & Ward, T. B. (Eds.), The creative cognition approach (S. 135-156). Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, S. M. & Blankenship, S. E. (1989). "Incubation effects." Bulletin of the Psychonomic Society, 27, 311-314.
- Smith, S. M. & Blankenship, S. E. (1991). "Incubation and the persistence of fixation in problem solving." American Journal of Psychology, 104, 61-87.

- Sternberg, R. J. (1999). Handbook of Creativity. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Sternberg, R. J. & Davidson, J. E., Eds. (1995). The nature of insight. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. I. (1995). An investment perspective on creative insight. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 535-558). Cambridge, MA: MIT Press.
- Thomas, J. C. (1974). "An analysis of behavior in the hobbits-orcs problem." Cognitive Psychology, 6, 257-269.
- Thorndike, E. L. (1911). Animal Intelligence: Experimental studies. New York: Macmillian.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. & Born, J. (2004). "Sleep inspires insight." Nature, 427, 352-355.
- Wallas, G. (1926). The art of thought. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Wegner, D. M. (2002). The illusion of conscious will. Cambridge, MA: MIT Press.
- Weisberg, R. & Suls, J. M. (1973). "Information-processing model of Duncker's Candle Problem." Cognitive Psychology, 4, 255-276.
- Weisberg, R. W. (1992). "Metacognition and insight during problem solving: Comment on Metcalfe." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 18, 426-431.

- Weisberg, R. W. (1995). Prolegomena to theories of insight in problem solving: A taxonomy of problems. In: Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (S. 157-196). Cambridge, MA: MIT Press.
- Weisberg, R. W. & Alba, J. W. (1981). "An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of several "insight" problems." Journal of Experimental Psychology: General, 110, 169-192.
- Wertheimer, M. (1925). Drei Abhandlungen zur Gestalttheorie. Erlangen: Verlag der Philosophischen Akademie.
- Wertheimer, M. (1959). Productive thinking. New York: Harper.
- Wertheimer, M. (1964). Produktives Denken. Frankfurt a. M.: Kramer.
- Wertheimer, Mich. (1985). "A Gestalt perspective on computer simulations of cognitive processes." Computers in Human Behavior, 1, 19-33.
- Wickelgren, W. A. (1974). How to solve it. San Francisco: Freeman.
- Wiley, J. (1998). "Expertise as mental set: The effects of domain knowledge in creative problem solving." Memory & Cognition, 26(4), 716-730.
- Woodworth, R. S. & Schlosberg, H. (1954). Experimental psychology (Rev. ed.). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Yaniv, I. & Meyer, D. E. (1987). "Activation and metacognition of inaccessible stored information: Potential bases for incubation effects in problem solving." Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 13, 187-205.