

# GESETZE DER LÖSUNGSSUCHE BEI PROBLEMEN ALS GESETZE DER ERZEUGUNG VON EINSICHT

*Hartmut Fillbrandt*

## **1 Die Bedeutung des Unterschiedes zwischen „Problem“ und „Aufgabe“ für die Schule**

Das Wohlergehen vieler Firmen hängt heute von der Problemlösefähigkeit ihrer Mitarbeiter ab. Immer mehr gilt, dass, wer überleben will, neue Produkte am Markt anzubieten hat. Mehr und mehr wird deshalb gefordert, die Fähigkeit, Probleme erkennen und lösen zu können bereits in der Schule zu lehren. Damit rückt die Frage in den Vordergrund, was das für ein Denken ist, nicht mehr nur einer denkpsychologischen Grundlagenforschung wegen, sondern aufgrund der gesellschaftlichen Forderung einer Wahrung des Lebensstandards. Wer aber ein solches Denken unterrichten möchte, bedarf einer Theorie problemlösenden Denkens. Sie hat auszusagen, was ein Problem allgemein ist und wie nach Lösungen zu suchen ist.

Schule hat bislang ein anderes Selbstverständnis gehabt. Es besteht in der Tradition bewährten Wissens von einer Generation auf die nächste. „Wissen“ meint jenes kostbare Wissen, das vergangene Generationen als Lösungen für bestimmte Problemstellungen fanden, z. B. wie man Feuer macht oder wie man aus einem Faden ein Tuch webt. Wenn die Problemstellungen fortbestehen, ist es für die jeweils nächste Generation sehr vorteilhaft, bewährte Lösungen einfach zu übernehmen statt sie erneut zu erfinden. Letzteres wäre nämlich kaum möglich, da die Suchzeit für die Wieder-Erfindung ungleich länger dauern würde als der vergleichsweise kurze Prozess des Erlernens bereits gefundener Lösungen. Auch bestände keine Garantie der Wieder-Erfindung, denn wer sucht, muss nicht auch finden, während die Übernahme fertiger Lösungen ein mit Sicherheit zum Lösungswissen führender Prozess ist. Zu Beginn einer solchen Übernahme haben die Schüler daher erstens das Problem in der Regel nicht selbst zu erkennen, sondern es wird ihnen mehr oder weniger direkt genannt. Lediglich die Motivation zur Findung einer Lösung wird noch mitgelehrt, die „Einsicht“ in die Bedeutung einer Lösung, denn die Schüler sollen wissen, wozu das nachfolgend gelehrt Lösungswissen gut sein wird, warum sie es also lernen sollen. Zweitens werden die Schüler nach der gelehrtten Erkennung des Problems in der Regel nicht in einen zeitraubenden und lösungsunsicheren Suchprozess geschickt, sondern auch dieser wird übersprungen, indem mehr oder weniger direkt eine bereits gefundene Lösung gelehrt wird. Damit wird insgesamt sehr viel Erkennungs- und Suchzeit eingespart, und der reine Aneignungsprozess bereits bestehenden Lösungswissens steht in der Schule im Vordergrund.

In der Evolution zum Menschen hin begann dieser Prozess der Wissensfindung und -übertragung mit der Freisetzung der Greifhand des Baumhänglers, die nicht nur ge-

eignet war, den Ast zu umfassen, sondern als eine Art Universalkupplung alles Mögliche in die Hand zu nehmen. Seit dem „erwachenden Denken“ (KLIX 1993) passt sich der Mensch nicht mehr der Umwelt an, sondern sich die Umwelt an, die biologische Anpassung scheint durch eine kulturelle abgelöst worden zu sein. „Wissen“ besteht seitdem darin, was man jeweils tun muss, um Gegebenes in Gewünschtes zu überführen, unter Ausnutzung vorgegebener Naturgesetze. Entsprechend wird in der Literatur des Problemlösens unter einem „Problem“ recht einheitlich jene Situation verstanden, in der man eine mehr oder weniger vage Vorstellung von einem neuen wünschenswerten Objekt, Zustand oder Situation hat, aber nicht weiß, wie man die Vorstellung realisieren könnte. Während bei einem Problem also Nichtwissen besteht, liegt bei einer „Aufgabe“ ein Lösungswissen vor. Sie kann daher routinemäßig-automatisch abgearbeitet werden, eben „problemlos“ Gegebenes in Gewünschtes überführt werden. Ein Problemlöseprozess muss folglich die Suche nach jeweils ausstehendem Wissen sein, einem Wissen, das das Problem zur Aufgabe machen würde. Umgekehrt wird eine Aufgabe wieder zum Problem, wenn zugehöriges Lösungswissen vergessen wird.

Damit wird deutlich, was problemlösendes Denken heißen muss. Eine Theorie des Problemlösens muss ein (Meta-)Wissen zur Suche jeweils fehlenden Lösungswissens sein. Sie hat auszusagen, welche Art von Lösungswissen jeweils fehlt und wie danach zu suchen ist. Als ein Suchwissen zur Suche von Lösungswissen muss sie ebenso ein Wissen „in der Sache“ sein wie das Lösungswissen selbst, das ein jeweiliges Sachwissen darstellt über jenes Sachgebiet, aus dem das Problem/die Aufgabe kommt. Es muss ebenso ein Wissen „über“ bzw. „von“ etwas sein, ein auf vorgegebene Sachen zutreffendes Wissen. Allerdings muss es sich, wenn es auf alle (Sach-)Probleme anwendbar soll, auf allgemeine Sachstrukturen beziehen, die allen Sachgebieten unterliegen.

Die Frage nach solchen sehr allgemeinen Sachstrukturen könnte mit der Frage identisch zu sein, an was sich das wahrscheinlich in Ostafrika entstandene Denken anpasste und seinen Träger später selbst auf Grönland überleben lässt, d. h. ihn auch dort sich stellende Überlebensprobleme zu meistern gestattet. Offenbar muss es sich um eine hinter konkret-verschiedenen Umwelten stehende abstrakt-gleiche Umwelt handeln, um allgemeingültige Sachstrukturen, die überall anzutreffen sind. Problemlöseforschung als Naturwissenschaft hat diese naturgesetzlich vorgegebenen Sachstrukturen zu erkennen und zu Vorschriften problemlösenden Denkens zu machen, Sach- zu Suchstrukturen, um unabhängig vom konkreten Sachgebiet, aus dem ein jeweiliges Problem stammt, aussagen zu können, wie allgemein bei Problemen nach Lösungen zu suchen ist. Eine solche Suche wäre eine angepasste Suche. Nicht länger wäre nur aufgabenlösendes Denken ein angepasstes, auf eine vorgegebene Realität zutreffendes Denken, sondern auch problemlösendes Denken, in diesem Sinn ebenfalls „richtiges“ Denken.

Problemlösendes Denken kann damit nicht unabhängig von der Umwelt untersucht werden. Die zu untersuchende Empirie liegt nicht allein in den Köpfen, wie bislang in der Psychologie vermutet, sondern auch in vorgegebenen Strukturen der Außenwelt. Eine theoretische Einbettung menschlichen problem- und aufgabenlösenden Denkens in die Umwelt könnte nicht nur zu einer Objektivierung von Denken führen, sondern auch zu einer Erklärung von außen/oben. Die zweite Objektivierung könnte von innen/unten kommen, durch die Erklärung physiologischer Gesetzmäßigkeiten,

auf denen Denkgesetze aufbauen, wie also der Kopf es macht, so wie erforderlich zu denken. „Warum“ ein beobachtetes Denken so ist, wie es ist, könnte damit zwei Erklärungen haben, eine von oben und eine von unten.

Obwohl es auch beim problemlösenden Denken um Anpassung an vorgegebene allgemeine Sachstrukturen gehen dürfte, scheinen diese erst eher implizit erkannt worden zu sein. Eine Erklärung scheint ebenfalls der Blick in die Evolution zu bieten. Der Erfolg des von der Menschheit beschrittenen Weges der Anpassung von Umwelt an eigene Bedürfnisse dürfte nämlich, auf den ersten Blick widersprüchlich, nur zum kleineren Teil an der aufkommenden Erfindungsfähigkeit gelegen haben als vielmehr an der sozialen Fähigkeit der Horde zur Übernahme neuen Wissens, z. B. neue erfundene Geräte und Techniken auch funktionsrichtig anwenden zu können. Seit jeher sind es Einzelne, die Probleme zuerst bzw. überhaupt erkennen und sodann nach Lösungen suchen. Das Wohl der ganzen Überlebensgemeinschaft kann vom Lösungserfolg dieser wenigen abhängen. Sollte sich ein solcher tatsächlich einstellen, dann hat schon immer gegolten: Hat einer die Lösung erkannt, haben sie per nachfolgender Nachahmung alle erkannt. Alle profitieren dann in leichter Weise von der meist mühsam gefundenen Lösung. Da nicht die Überlebensfähigkeit des Einzelnen in der Evolution bewertet/ausgelesen wurde, sondern die der Horde, muss diese Fähigkeit, vorgemachte Lösungen nach kurzen Übungsphasen richtig anwenden zu können, einen höheren Auslesewert gehabt haben als die der Findung neuen vorteilhaften Wissens. Entsprechend findet seit der Findung von erstem Aufgabenlösungswissen eine Tradition eben solchen Wissens von einer Generation zur nächsten statt, und nicht eines Problemlösewissens selbst. Der Vorteil ist zudem, dass jede Generation neues Aufgabenlösungswissen hinzufügt, so dass solches Wissen über die Generationen kumuliert, der Nachteil allerdings, dass die Lernzeiten immer länger werden.

Dieser Hintergrund scheint von großer Bedeutung zu sein, wenn heute aufgrund eines sich rasch verändernden Marktes die Schule nicht mehr nur gesichertes Wissen lehren soll, also Aufgabenlösen, sondern auch Problemlösen. Zum einen ist unklar, inwieweit anlagemäßig die Fähigkeit zum Problemlösen bei den Schülern potenziell vorhanden ist, zum anderen, wie die Suche nach Lösungen auszusehen hat. Unklar ist damit auch, was wie durch den Lehrer zu unterrichten ist.

## **2 Der unvollendete Ansatz DUNCKERs und WERTHEIMERs zum Problemlösen**

Die insbesondere aus der Gestaltpsychologie hervorgegangene Problemlöseforschung interessiert sich dafür, wie Menschen Probleme lösen, was sie tun, um Lösungen zu finden, wobei die Hoffnung besteht, „dass wesentliche Züge der Lösungsfindung vom speziellen Denkmaterial unabhängig sind“ (DUNCKER 1963, S. III). Offenbar soll es mit den „wesentlichen Zügen“ um Gesetzmäßigkeiten einer Lösungssuche gehen, unabhängig vom konkreten (Sach-)Problem. Es gehe, so DUNCKER, um das „Problem des Findens“ (S. III), „auf welche Weise eine sinnvolle Lösung überhaupt gefunden werden kann“ (S. IV), um einen „natürlichen Werdegang des Neuen“ (S. 54), um die „Natur des Denkvorganges“ (WERTHEIMER 1964, S. 3), um eine „Genese der Lösung“ (DUNCKER, S. 9), die „aus der Problemsituation hervorzugehen“ (S. 2)

habe, aus den „inneren Forderungen der Lage“ (WERTHEIMER, S. 38). Mit dieser Berufung auf die Natur scheint es ihnen wohl um einen noch zu erkennenden, von der Natur vorgegebenen Lösungsprozess zu gehen. Er hätte demnach vorgegebenen Gesetzmäßigkeiten zu folgen (Folgerichtigkeit). Ihre Nichtbefolgung müsste wohl mangelnde Problemlösefähigkeit bedeuten. Wir vermuten, dass die beiden Autoren diese noch unbekanntenen Vorschriften meinen, wenn sie von einem „logischen Problemlösen“ sprechen (DUNCKER, S. 55 f.; WERTHEIMER, S. 43, 85, 87). Letzterer sieht die Logik des produktiven Denkens (S. 219 ff.) als Gestaltlogik (S. 235 ff.).

Beide Autoren suchen nach dieser Logik. Eine wesentliche Suchmethode scheint ihnen im Vergleich „guter“ und „schlechter“ Personen zu liegen. „Es geht um den Unterschied zwischen gutem und schlechtem Denken“ (WERTHEIMER, S. 2), „um ein Verständnis dessen, was in guten und schlechten Prozessen vor sich geht“ (S. 67). Darum ringt er, wenn er solche Prozesse anhand einer einzigen (Parallelogramm-) Aufgabe über das ganze erste Drittel seines Buches vergleicht, ebenso wie DUNCKER, wenn dieser z. B. den „mechanischen“ Lösungsweg mit dem „organischen“ zu vergleichen versucht (S. 54 f.). Dabei versuchen sie klarzumachen, dass es sich bei „guten“ Lösungsprozessen um „einsichtiges“ Problemlösen handeln muss. Aber

- a) sie dringen nicht bis zu einer Theorie einsichtigen Problemlösens vor. Eine solche müsste alle ihre Problemstellungen zu einer einzigen abstrakten verdichten, so dass sie nur noch konkret verschiedene sind und gezeigt wird, wie der jeweilige konkrete Lösungsweg aus denselben theoretischen Vorschriften folgt. So aber bleiben alle sukzessiv erörterten Problemstellungen trotz viel versprechender Ansätze theoretisch noch unverknüpft und eine letztlich nur und-hafte Aufzählung.
- b) es wird nicht wirklich klar, was sie mit „Natur“ meinen, ob für sie die zu erforschende Empirie das Denken anderer Menschen ist oder die Sachgebiete, aus denen die Probleme stammen. Im ersten Fall hätte man das Denkverhalten von Versuchspersonen zu untersuchen und in der Tat Unterschiede im Suchverhalten zwischen den Personen zu analysieren. Die Theorie müsste in den Unterschieden liegen. Im zweiten Fall hätte man die Sachgebiete selbst nach unterliegenden allgemeinen Sach- als Suchvorschriften zu untersuchen, die von „guten“ Personen bereits mehr oder weniger erkannt sein und bei ihnen bereits zu einem sachproblem-übergreifenden effektiven Suchwissen geführt haben könnten. Tatsächlich findet man bei den Autoren eine Mischung von beidem. Einerseits berufen sie sich auf das Lösungsverhalten von Personen, andererseits analysieren sie auf der Suche nach der Suchlogik offenbar selbst die primären Sachstrukturen, d. h. wie man wohl suchen müsste. Das ist die Frage, woher eine Person denn überhaupt wissen kann, wie zu vorzugehen hat, bzw. die Frage, was das objektive Kriterium für die Suchgüte ist.
- c) zentrale Begriffe der Gestaltpsychologie wie Ganzheit, Teil und Gestalt werden in ihren Studien zum Problemlösen kaum eingebracht.

Insgesamt gewinnt man so den Eindruck eines entwicklungsfähigen, aber aus möglicherweise politischen Gründen stecken gebliebenen Ansatzes, der nach dem Weltkrieg nicht mehr fortgeführt wurde. Andere Ideen schoben sich in den Vordergrund. So scheint insbesondere bis heute unklar geblieben zu sein, was unter „Einsicht“ bzw. „Verständnis“ zu verstehen ist (STERNBERG & DAVIDSON 1995).

Betrachtet man die drei großen Lernarten „Assoziatives Lernen“, „Lernen durch Nachahmung“ und „Lernen aufgrund von Einsicht“, so sind beim Prozess der Wissensübertragung die beiden letzteren die erheblich effektiveren. Nachahmung meint die Fähigkeit zum Kopieren ganzer Handlungssequenzen, ein Vormachen durch den Lehrer und ein Nachmachen durch den Schüler. Seit kurzem scheinen wir mit der Entdeckung von „Imitations-“ bzw. „Spiegelneuronen“ durch den Forscherkreis um Rizzolatti (z. B. GALLESE & GOLDMAN 1998) auch um neuronale Grundlagen dieser Fähigkeit zu wissen. Bloßes Nachäffen aber wird als dem Menschen nicht würdig angesehen, das bloße Vormachen fertiger Lösungsrezepte und deren „blinde“ Nachahmung, das, was WERTHEIMER „Drill“ nannte, ein „dummes“ Lernen als „ohne Einsicht“, warum man es so wie gelehrt macht und wie der (Er-)Finder dieses So einst darauf gekommen sein könnte. WERTHEIMER ringt darum, was ein nach Einsicht suchendes Lernen als ein natürliches Lernen sein könnte. Folgt man ihm, so sollte es nicht nur bei Problemen selbst, sondern auch bei der Lehre von Aufgabenlösungswissen um problemorientiertes Denken und Lernen gehen. Vor dem Lernen sollten Schüler mit dem Problem vertraut gemacht werden und dieses als solches einsehen/verstehen. Damit sollten sie zunächst erkennen, was sie noch nicht wissen, aber zur Lösung des Problems wissen müssten. Sodann sollten sie „produktiv“ zu denken lernen, d. h. selbst effektiv nach Lösungen zu suchen lernen. Sie würden so mit Verständnis für die Lösung lernen, wissen, wann sie anwendbar ist, welche Lösungsanforderungen sie bedient, anders als beim stur eingepaukten Lösungsrezept. Benutzt man heutige Begriffe, so forderte WERTHEIMER wohl ein autodidaktisches Lernen, das Schüler beim Lernen mitlernen sollten, eben lernen zu lernen.

### 3 Die wechselseitige Bestimmung des Ganzen und seiner Teile

#### 3.1 Konsequenzen aus der allseits anerkannten Definition eines Problems

Über das, was ein Problem ist, scheint es „eine selten vorfindbare Übereinstimmung“ (HUSSY 1984, S. 114) zu geben. Ein Problem liegt danach vor, wenn man aus gegebenen Objekten (Zuständen, Situationen) neue gewünschte Objekte herstellen möchte, Gewünschtes aus Gegebenem, Neues aus Altem, Vorgestelltes aus Realem, und man nicht weiß, durch welche körperlichen oder geistigen Handlungen man diese Überführung (Transformation) bewerkstelligen könnte.

Aus dieser Definition lassen sich für eine Theorie des Problemlösens Folgerungen ziehen, vor allem:

- a) Die Benutzung des Begriffs „Problem“ bezeichnet das Meta-Wissen, etwas nicht zu wissen. Problemlösen muss deshalb der Versuch sein, das bei einem Problem fehlende Wissen zu finden. Entsprechend muss eine Theorie des Problemlösens eine Theorie (Meta-Wissen) der Suche nach jeweils ausstehendem Wissen sein.
- b) Sollte gesuchtes Wissen gefunden werden, wird das Problem zur Aufgabe. Das bedeutet, dass dann ein zunächst eingesetztes sehr allgemeines (Problem-)Lösungswissen ohne Garantie der Lösungsfindung durch konkreteres Lösungswissen mit Lösungsgarantie abgelöst wird. Wie man zeigen kann, kann auch solches Wissen noch weiter verkürzt werden, unter weiterer Einsparung von Speicherplatz und Lösungszeit (FILLBRANDT 1986, 1987).

- c) In der Definition kommen zwei zentrale, jedoch unklare Begriffe vor, die Begriffe „Objekt“ und „Herstellung“. Wenn denn die Definition für alle möglichen Probleme gelten soll, gleich aus welchen Sachgebieten, und niemand hat bislang widersprochen, dann müssen wir klären, was ein Objekt seinem Wesen nach ist. Und es muss geklärt werden, was bei einer „Herstellung“ von Objekten aus Objekten (Erzeugung, Umwandlung, Transformation) dem Prinzip nach geschieht, ganz gleich, was woraus hergestellt wird. Beides soll im Folgenden auf der Basis gestaltpsychologischer Ansätze geschehen, damit der Kern einer Theorie problemlösenden Denkens skizziert wird.

### *3.2 Immaterielle Forderung von oben und ihre materielle Erfüllung von unten in funktionierenden Objekten*

Ein Objekt (Zustand, Situation) ist ein Ganzes. Als solches kann es eine oder mehrere Eigenschaften aufweisen, d. h. es ist in der Lage, in einer oder mehreren ihm übergeordneten Ganzheiten/Kontexten/Suprastrukturen eine oder mehrere Funktionen auszuüben, Rollen zu übernehmen, Aufgaben zu erfüllen. Statt von Eigenschaft, Funktion, Rolle, Aufgabe kann man auch von Bedeutung, Sinn, Wert des Objektes sprechen.

Dass ein Objekt die von ihm von einem Kontext verlangten Eigenschaften/Rollen realisieren kann, erklärt sich durch seine Infrastruktur. Das Objekt besteht aus Relationen plus Teilen. Die Relationen erfüllen zwei Aufgaben. Einerseits verknüpfen sie nach oben hin die Teile zum Ganzen und stellen so das Ganze her, genauer die Eigenschaften des Ganzen. Durch die Verknüpfung bereits gegebener Objekte werden diese zu Teilen, und durch die besondere Art der Verknüpfung entsteht ein Ganzes mit besonderen Eigenschaften/Funktionsbereitschaften. Andererseits fordern die Relationen im Moment ihrer Stiftung/Aufrufung nach unten hin von den Teilen die Bereitstellung bestimmter Eigenschaften/Funktionen. Es entsteht so eine Anforderungsstruktur von oben nach unten, die im Erfolgsfall von unten nach oben erfüllt wird.

Die Teile, selbst Ganzheiten, erbringen als solche die von ihnen geforderten Eigenschaften. Damit sie das können, fordern sie ihrerseits über ihre Relationen von ihren Teilen bestimmte Eigenschaften, diese wiederum von ihren Teilen, usw. nach unten, so dass sich eine Anforderungshierarchie über viele qualitativ verschiedene Stufen/Ebenen von oben nach unten ergibt. Und in einem „funktionierenden“, seine Eigenschaften real ausübenden Objekt werden die von oben nach unten geforderten Eigenschaften von unten nach oben erfüllt, bedient, realisiert. Das ist die Wechselbeziehung zwischen der „immateriellen“ Forderung von oben und ihrer „materiellen“ Erfüllung von unten. Das Ganze bestimmt seine Teile, genauer über seine ihn bestimmenden Relationen nur deren Eigenschaften, Funktionen, Rollen, Aufgaben, und die Teile bestimmen auch das Ganze, indem sie diese Eigenschaften von unten verwirklichen, damit auch das Ganze selbst.

Blickt man auf die immaterielle top-down-Anforderungsstruktur, so stellt ein Ganzes ein hierarchisches Skelett eigentlicher Relationen dar, eine hierarchische Gestalt. „Gestalt“ meint, dass über die Relationen aufwärts nur die Eigenschaften des Ganzen bestimmt werden und abwärts nur die Eigenschaften der Teile gefordert werden, nicht aber auch die Art ihrer Realisierung. Deshalb kann jedes Objekt, das eine jeweils geforderte Eigenschaft aufweist, zur Realisierung dieser Eigenschaft verwendet wer-

den. Eine Gestalt kann so pro Teil prinzipiell unendlich viele konkrete Realisierungen erhalten, in „Form“ immer wieder anderer Objekte in Erscheinung treten.

Jedes existierende Objekt, auch der Stein am Wegesrand, hat so betrachtet sowohl eine immateriell-strukturell-geistige Komponente als auch eine materiell-reale. Das bedeutet, dass es keine Relation gibt ohne ihre Festmachung (Realisierung) an materiell-realen Teilen, und umgekehrt keine Materie ohne eine verknüpfende Struktur. Die Antwort auf die Frage, „was“ der Stein ist, Geist oder Materie, hängt von der gewählten Perspektive ab. Sieht man ihn als Teil eines größeren Ganzen, wird z. B. seine Eigenschaft „hart“ benutzt, um die Haselnuss aufzuschlagen, dann besteht er aus Materie. Das ist der Blick nach unten/von außen/vom Ganzen zum bereits existierenden Teil. Möchte man dagegen beantworten, wie er es macht, nach oben/außen hin so hart zu sein, dann haucht ihm eine gefundene Erklärung eine Infrastruktur ein, damit Geist. Das ist der Blick nach oben, aus der Tiefe der Struktur zum Stein als Ganzes.

### *3.3 Unten und oben liegende Gründe, Einsichten als Erklärungen*

„Funktionierende“ Objekte sind solche, in denen ein Gleichgewicht zwischen den Forderungen von oben und ihren Erfüllungen von unten herrscht. Es kann in zweierlei Weise gestört werden:

- a) Wenn die ablaufende Wechselbeziehung dadurch gestört wird, dass auf einer unteren Ebene eine von oben geforderte Eigenschaft nicht mehr erfüllt wird, so ergibt sich die kleine „Ursache“ mit der großen Wirkung nach oben. Gibt z. B. ein kleiner Widerstand in einem hierarchisch geordneten Netz von Schaltkreisen seinen „Geist“ auf, weil seine Infrastruktur nicht mehr funktioniert, so funktioniert das nächsthöhere Ganze nicht mehr, das von ihm die Ausübung einer ganz bestimmten Funktion verlangt, dadurch das wiederum nächsthöhere Ganze nicht mehr, so dass schließlich das ganze Radio nicht mehr spielt. Und verändert man in einem Text eventuell auch nur einen Buchstaben, so bekommt das Wort keinen Sinn mehr oder einen anderen Sinn und damit vielleicht der ganze Satz keinen Sinn mehr oder einen anderen Sinn.

Ruft man die Eigenschaft eines Objekts auf und möchte man erklären, wie es diese Eigenschaft erbringt, z. B. warum der Diamant so hart ist und Graphit so weich, obwohl doch beide aus Kohlenstoff zusammengesetzt sind, so muss man die jeweiligen Infrastrukturen erforschen und die „Gründe“ in der Art der Verknüpfung suchen, die die jeweilige Eigenschaft des Ganzen bedingt. Je nachdem, wie tief man forscht, kann es Erklärungen/Einsichten erster, zweiter, dritter ... Ordnung geben. Auch wenn das Radio nicht mehr spielt, muss man in seine (schon bekannte) Infrastruktur (hin-)einsehen. Dabei wird man heute aus Kostengründen meist schon auf einer oberen der unteren Ebenen fündig, indem man den Grund einem ganzen Modul/Schalteinheit zuschreibt und dieses austauscht, und nicht etwa den Widerstand, die Spule oder den Kondensator viel weiter unten.

- b) Wegen der Anforderungsstruktur von oben können „Ur-Sachen“ bzw. „Gründe“ nicht nur unten liegen, wie die Begriffe suggerieren, sondern auch oben. Dass z. B. eine Maschine nicht mehr läuft, muss nicht daran liegen, weil etwas „in“ ihr kaputt ist, sondern auch daran, weil die Aufträge ausgeblieben sind. Deshalb kann eine

Ursachenforschung auch nach oben stattfinden und es kann wieder Erklärungen/ Einsichten erster, zweiter, dritter ... Ordnung geben, jetzt von oben.

Genauer besehen wird bei der Ortung von Gründen immer ein wechselseitiger Bezug von oben und unten vorausgesetzt. Wenn z. B. das Flugzeug abstürzte, „weil“ es in ein Unwetter geriet, siedelt man den Grund oben an, in einem in Bezug auf die Infrastruktur des Flugzeugs nicht normalen Kontext, der Anforderungen stellte, für die es nicht gebaut war, d. h. es besaß keine „geeignete“ Infrastruktur und damit Eigenschaft, um einem solchen Wetter standhalten zu können. Wenn man dagegen sagt, dass es abstürzte, „weil“ es zu leicht gebaut war, wird der Grund in der Infrastruktur gesehen. Je nach Sichtweise folgen ganz verschiedene Maßnahmen, um einem zukünftigen Absturz zu begegnen.

### *3.4 Suche (Forschung, Gewinnung von Einsichten) nach unten und/oder nach oben*

Forschungen beginnen auf einer bestimmten Ebene noch zu erschließender hierarchischer Kontexte. Dabei werden Forschungen nach unten oder nach oben nicht nur dann angeregt, wenn etwas nicht mehr funktioniert, d. h. ein bisher existierendes Gleichgewicht zwischen unten oder oben gestört wird. „Grund“-lagenforschung meint allgemein den Versuch des Erklärens funktionierender Systeme, also wie Eigenschaften beobachteter Objekte von unten realisiert und von oben angefordert werden. Auch wenn Forschung oft einseitig ausgeführt zu werden scheint, nur nach unten, nur als Analyse, oder nur nach oben, nur als Synthese, hat in Wahrheit immer eine Wechselwirkung von Analyse und Synthese stattzufinden. Es kann keine Analyse geben, ohne dass ihre Richtigkeit durch eine nachfolgende Synthese bestätigt wird, und keine Synthese ohne nachfolgende bestätigende Analyse:

- a) Möchte man z. B. die beobachtete Eigenschaft eines Ganzen von unten erklären und zerlegt man dazu das nach unten noch unklare Ganze versuchsweise in nächst-untere Teile, so geht es nicht um irgendwelche Teile, sondern wegen der gleichzeitigen versuchsweisen Stiftung einer Relation, die die beobachtete Eigenschaft zu erbringen vermag und deswegen den Teilen versuchsweise bestimmte Eigenschaften zuordnen muss, um solche Teile, die diese ihnen angedienten Funktionen tatsächlich auch im versuchsweise gesetzten Kontext auszuüben vermögen, d. h. tatsächlich auch nach oben hin die beobachtete Eigenschaft des Ganzen entsteht. Das heißt, dass der Versuch der Zerlegung in Teile von oben überwacht wird dadurch, dass nach der versuchsweisen Analyse ihre Umkehrung, die Synthese, auf dem Fuße folgt. Ihr Ergebnis hat die Analyse als richtig zu bestätigen.
- b) Möchte man umgekehrt bei einer Aufwärtsforschung Einzelobjekte versuchsweise zu einem nächsthöheren Ganzen zusammenfügen, um ihre Funktionen/Rollen/ Bedeutungen in einem nach oben hin noch unklaren Ganzen herauszubekommen, d. h. um sie jetzt von oben zu erklären, so kann auch das nicht irgendwie geschehen. Vielmehr geht es jetzt um die versuchsweise Stiftung solcher Relationen zwischen ihnen und dabei um die gleichzeitige Zuweisung solcher Funktionen, die sie auch tatsächlich zu erfüllen vermögen, „aufgrund“ ihrer bekannten oder noch unbekanntem Infrastrukturen. Sie taugen nicht für beliebige neue Ganzheiten, es können nur solche Relationen/Ganzheiten als Hypothesen gesetzt werden, die die tatsächlich gegebenen Objekte „sinnvoll“ zu integrieren vermögen. Der



Versuch ihrer Integration wird jetzt von unten überwacht, indem der Synthese ihre Umkehrung, die Analyse, auf dem Fuße folgt. Ihr Ergebnis soll die versuchsweise Synthese als richtig bestätigen.

Das Lesen eines Aufsatzes z. B. ist Forschung nach oben, die Erforschung einer hoch gestaffelten Suprastruktur. Man liest unten Wort für Wort, bildet die Hypothese des Satzes, ein versuchsweises Ganzes, das sofort auf die dabei versuchsweise gesetzte Bedeutung der Wörter zurückwirkt und diese möglicherweise noch korrigiert, jedoch nicht beliebig, sondern so, dass die hypothetisch gesetzte Bedeutung des Satzes von unten bestätigt/unterstützt werden kann. Ebenso liest man Satz für Satz, sich den Sinn des Absatzes erarbeitend, und schließlich Absatz für Absatz, sich den Sinn des Aufsatzes erschließend.

Das Schreiben eines Aufsatzes ist dagegen eine Forschung nach unten, eine Erfindung einer tief gestaffelten Infrastruktur. Auf einer nächstunteren Ebene fordert/entwirft man die Bedeutung/Überschriften von Absätzen, danach die Bedeutung von Sätzen, danach die von Worten, wobei der Regress dadurch gestoppt wird, dass die Wörter mit den geforderten Bedeutungen in der Regel vorhanden sind. So wird die Bedeutung des ganzen Aufsatzes Stufe für Stufe nach unten getragen. Während versuchsweise die jeweils nächstuntere Ebene strukturiert wird, überwacht der Sinn der aktuellen Ebene darüber, dass er tatsächlich auch von unten erfüllt, getroffen wird. Das Schreiben wird erst beendet, wenn eine zufrieden stellende Wechselwirkung zwischen den Forderungen von oben und ihren Erfüllungen von unten erreicht ist.

Solche Beispiele können in beliebiger Zahl vermehrt werden, ganz gleich, ob es sich um physikalische, biologische, soziale oder geistige Objekte handelt. Gesellschaften, Aufsätze, Musikstücke, Pflanzen, Tiere oder Bilder haben keine andere Struktur als physikalische Objekte. Jedenfalls vermögen wir es mit unserem evolutionär entstandenem vermutlich *einem* Denken nicht anders zu sehen.

### 3.5 Rückwärtsplanung und Vorwärtsrealisierung, Herstellung als Auf- oder Abbau

Gemäß obiger Definition eines Problems sind geforderte Objekte aus gegebenen Objekten herzustellen. Zuerst entsteht die Zielvorstellung, danach die Frage, wie diese aus welchen gegebenen Objekten hergestellt werden könnte, damit eine Herstellungsplanung.

Aus der Wechselwirkung zwischen einem Ganzen und seinen Teilen folgt, dass es nur zwei Arten der Herstellung des Zielobjekts geben kann, entweder von unten, synthetisch, d. h. durch Aufbau (Zusammensetzung) aus gegebenen (Unter-)Objekten, oder von oben, analytisch, d. h. durch Abbau (Abspaltung, Zerlegung, Ausbau) aus einem bereits gegebenen Ganzen. Entsprechend gibt es zwei grundlegende Planungsrichtungen zur Herstellung des geforderten Objekts, die Planung der Herstellung durch Aufbau oder durch Abbau. In der Praxis kommen oft komplexe Mischungen beider Herstellungsmöglichkeiten vor.

Möchte man versuchen, das Objekt durch Zusammensetzung herzustellen, wird man dem Objekt eine Infrastruktur geben müssen, und wenn eine solche versuchsweise entworfen oder schon fest vorgeschrieben ist, wird man nächstuntere Teile vom Gegebenen fordern. Sind diese im Suchraum „Gegebenes“ vorhanden, ist die Aufbau-

planung schon beendet. Sonst aber kann man versuchen, die Teile ihrerseits aus noch kleineren Teilen zu erzeugen, usw. nach unten. Diese Planung der Zielherstellung wird also eine von oben nach unten sein, und sie wird auf jeder Ebene qualitativ völlig andere Teile als Objekte vom Gegebenen fordern, vielleicht jedes Mal völlig andere Suchräume gemäß bisheriger Erfahrung aufrufen. Insgesamt wird es sich um eine Abwärts- als Rückwärtsplanung handeln, wenn wir mit „rückwärts“ die Richtung vom Geforderten zum Gegebenen bezeichnen. Entsprechend würde im Erfolgsfall das Zielobjekt vorwärts-aufwärts realisiert werden. Von einer erfolgreichen Planung und Realisierung dieser Planung wird man dann sprechen, wenn das Zielobjekt funktionieren wird, d. h. tatsächlich die Eigenschaft auszuüben vermag, die vom ihm verlangt wird. Mit dem Zielobjekt wird man also eine Wechselwirkung zwischen oben und unten zu planen und zu realisieren haben. Sie wird der „Sinn der Planung“ sein.

Zweitens kann man versuchen, ein gefordertes Zielobjekt durch Abspaltung herzustellen. Dann wird man es in einem gegebenen Objekt/Kontext wissen/vermuten, aus dem es noch abzuspalten/auszubauen ist. Jetzt ist, ausgehend von den geforderten Eigenschaften des Zielobjekts, schrittweise eine Aufwärts-Rückwärtsplanung als Ausbauplanung vorzunehmen. Dabei wird der gegebene Kontext schrittweise nach oben strukturiert, d. h. sukzessiv eine Ausbau-Suprastruktur entworfen, so lange bis diese Aufwärtsplanung vorwärts-abwärts verwirklicht werden kann, sukzessiv nächstuntere Teile freisetzend als Zwischenziele/Voraussetzungen zur Abspaltung noch weiter unten liegender Teile, bis zum Zielobjekt.

Das Zielobjekt kann bereits ein **explizites** Teil des Einbettungskontextes sein, d. h. dort als Wirkeinheit eine Funktion ausüben. Zu beachten ist in diesem Fall, dass die zu entwerfende Ausbau-Suprastruktur eine andere sein kann als die Suprastruktur des gegebenen Ganzen, die nach unten die Funktion des Teils aufruft. Möchte man z. B. die Auto-Scheinwerfer-Glühbirne auswechseln, so ist die vorgeschriebene Ausbau-Suprastruktur eine andere als jene, die im Auto die Funktion der Birne aufruft.

Das durch Ausbau herzustellende Zielobjekt kann auch nur **implizit** in einem gegebenen Objekt enthalten sein, d. h. nicht schon als Teil, nicht schon als Funktionseinheit. Der Faustkeil z. B. existiert nicht schon als solcher in der gegebenen Flintsteinknolle, das Brett nicht schon im Baum, ist aber in diesem potenziell enthalten. Die zielführende Planung zu seiner Herstellung beginnt beim Ziel „Brett“, also rückwärts-aufwärts, bei den von ihm geforderten Eigenschaften wie Rechteckigkeit, Geradheit, bestimmte Länge und Dicke. Um diese durch Sägen realisieren zu können, muss als nächsthöheres Ganzes der Baumstamm verfügbar sein, und damit dieser hergestellt werden kann, der abgesägte Baum, und damit dieser hergestellt werden kann der gewachsene Baum.

Der Grund des Ausbaus von Objekten liegt ebenso wie beim Aufbau von Objekten darin, sie als Teile in eine (andere) anfordernde Suprastruktur einzubauen, ein immer oben liegender Grund. Ausgebaute Objekte können dabei in derselben Funktion verwendet werden, in der sie auch in der alten Suprastruktur aufgerufen werden, z. B. der Motor wieder als Motor, auch wenn die Suprastruktur jetzt kein Auto sein sollte, sondern eine andere, z. B. ein Flugzeug; oder wenn der Fön nicht mehr als Haar-Fön, sondern als Blasebalg zum Anblasen des Grillfeuers verwendet wird; oder wenn die Schweineleber in einen Menschen verpflanzt wird. Sie können aber auch in ganz anderen Funktionen verwendet werden, die sie ebenfalls zu erfüllen vermögen. Reißt

man z. B. die Seite eines Buches aus, um damit das Holz im Ofen anzuzünden, wird sie umfunktioniert, in einer anderen Eigenschaft aufgerufen; und wenn die Schweineleber aufgegessen wird, wird sie als Nahrungsmittel verwendet.

Natürlich können nicht nur ausgebaut, sondern auch ursprünglich mit bestimmter Intention aufgebaute Objekte umfunktioniert werden, d. h. eine implizit mit hergestellte Eigenschaft explizit aufgerufen wird, z. B. verwendete KÖHLERs Affe die Kiste als Trittleiter.

Baut man ein Zielobjekt von unten nach oben auf, so möchte man eine geplante Wechselwirkung zwischen dem Zielganzen und seinen Teilen realisieren, damit die Eigenschaft des Zielganzen. Stellt man umgekehrt ein Zielobjekt durch Abbau her, möchte man eine ebenfalls zu planende Wechselwirkung aufheben, von der angenommen wird, dass sie real existiert und die Realität des Zielobjekts, genauer die von ihm geforderten Eigenschaften verhindert, z. B. die des Faustkeils. Abspaltungsvorgänge in Richtung des Zielteils befreien auf allen Stufen der Abspaltung das jeweils angezielte nächstuntere Teil von der Verhinderung, die verhindernden nicht gemeinten Teile gelten als Abfall.

### *3.6 Offene und geschlossene Zielobjekte*

Wie in der Literatur des Problemlösens immer wieder festgestellt können Ziel- wie auch gegebene Objekte „offen“ (unklar bzw. schlecht definiert) oder „geschlossen“ (bzw. wohl definiert) sein oder aus Mischungen zwischen diesen Extremen bestehen. Auch diese Begriffe waren bislang theoretisch unklar. Wir erklären sie nunmehr wie folgt:

Ein völlig offenes Ziel liegt vor, wenn nur Eigenschaften gefordert werden, aber keine sie realisierende Infrastruktur mitgefordert wird. Man fordert ein Objekt mit bestimmten Eigenschaften („ich brauche etwas, das Folgendes können müsste“), aber es besteht noch keine konkrete Zielvorstellung als Ziel-Infrastruktur. Bei einem geschlossenen Ziel dagegen wird eine klare Infrastruktur mitgefordert. Sie schreibt dann vor, aus welchen Unter-Unter-...Teilen das Ziel aufzubauen ist.

Ein offenes Ziel liegt z. B. vor, wenn ein Aufsatz zu einem geforderten Thema zu schreiben und dessen geforderter Sinn durch eine geeignete Infrastruktur zu treffen ist. „Teilweise“ strukturiert ist der Aufsatz, wenn bereits Teile geschrieben worden sind, aber weitere noch fehlen, also noch offen sind. Bei der Erfindung geeigneter Infrastrukturen kann der Teufel bekanntlich im Detail stecken, d. h. ein Objekt mit der geforderten Eigenschaft liegt „fast“ vor, man muss „nur noch“ ein geeignetes Unter-Unter-...Objekt erfinden. Beim Wankelmotor (Kreiskolbenmotor) war dies z. B. eine Dichtung, die eine bestimmte Kilometerlaufleistung halten sollte. Obwohl der Motor schon in Autos eingebaut war, wurde sie letztlich nicht gefunden.

Die Wechselwirkung zwischen dem Ganzen und seinen Teilen schreibt vor, dass offene Ziele schrittweise von oben nach unten zu strukturieren sind. Über jeweils versuchsweise einzusetzende Relationen werden Teile mit bestimmten Eigenschaften gefordert. Eine solche Forderung ist einerseits eine nach unten, andererseits eine an das Gegebene, nämlich die Frage, ob dieses bereits existierende Objekte anbietet, die die geforderten Eigenschaften zu bedienen vermögen. Die Planungstiefe zur Realisierung

ist gering, wenn nächstuntere Objekte sehr bald schon gegeben sind. Das ist z. B. bei der Planung eines Hauses der Fall, indem auf einer mittleren Ebene geforderte Unterobjekte im Baumarkt in bereits vorgefertigter Weise vorliegen, so dass die Herstellung dieser Unterobjekte nicht mehr zu planen ist. Überhaupt braucht dann ihre Infrastruktur nicht bekannt zu sein, d. h. sie in **elementarer** Weise angewendet werden.

Offene Zielobjekte haben einen außerordentlich bedeutsamen Planungsvorteil. Sie sind **allgemein**, weil versuchsweise gesetzte Relationen zwischen Teilen für diese nur Funktionen/Eigenschaften vorschreiben, nicht aber die Art der Realisierung der Funktionen. Die Funktionen bilden offene Funktionsklassen, in die alle Objekte fallen, die die Funktionen zu bedienen vermögen, „passende“ Teile sein können, „gleichwertige“. Es können unendlich viele sein, auch wenn in der Praxis meistens nur wenige bekannt sind. Dabei ist wichtig, dass passende Objekte durch jeweils ganz andere Infrastrukturen geforderte Eigenschaften erfüllen können. Fordert man z. B. Licht, weil der Strom ausgefallen ist, so kann ein lichtspendendes Objekt z. B. durch eine Taschenlampe, eine Kerze, Fackel, Ölfunzel, Kienspan, Karbidlampe usw. realisiert werden. Je nachdem, durch welches konkrete Objekt die geforderte Eigenschaft realisiert wird, kann ein offenes Zielobjekt jedes Mal eine völlig andere Realisierung erfahren.

Das gilt auch für Teile als Teilzielobjekte. Ein z. B. üblicherweise als Teil genommenes Objekt kann auch durch ganze andere vertreten werden, solange sie nur die geforderte Eigenschaft erfüllen. Da diese anderen Vertreter aber ganz andere Infrastrukturen aufweisen, geben sie einer Abwärtsplanung dadurch völlig andere Richtungen und damit völlig andere Forderungen an das Gegebene.

Sollte z. B. keiner der vielen möglichen Lichtspender gegeben sein, kann man versuchen, einen davon aus Teilen herzustellen. Je nachdem, welchen man wählt, wird man dann, seine Infrastruktur abwärts schreitend, ganz andere Dinge vom Gegebenen fordern, dort ganz andere Such- bzw. Wissensräume aufschließen. Fordert man z. B. eine Kerze und es ist keine bereits vorgefertigte im Haus, kann man versuchen, sie aus gegebenen Objekten zusammensetzen. Dann ist als erstes Kerzenteil ein Objekt zu fordern, das die Funktion eines Dochts zu übernehmen vermag, und ein Brennmaterial, das die Funktion des chemischen Energiespenders zu übernehmen vermag. Ist man sich der Funktionen bewusst, wird man nicht nach vorgefertigten „Kerzen“-Dochten und „Kerzen“-Wachs suchen, die kaum vorhanden sein dürften, sondern z. B. nach einem (an-)saugfähigen Material, z. B. einem Baumwollfaden im Nähkästchen, nach Schnürsenkeln, Gardinenschnüren, Objekte, die alle die erforderliche Saugeigenschaft aufweisen. Und man wird z. B. in der Klasse der Wachse suchen und so z. B. auch Schuhwachs, Baumwachs, Bienenwachs entdecken können. Wird man auf dieser „unteren“ Klasse nicht fündig, kann man zu einer höheren schreiten und z. B. in der Klasse der Fette suchen und von dort wieder zu anderen Unterklassen hinabsteigen. Dann kann z. B. das Lederfett entdeckt werden, das Rindertalg, das Speise-, das Nähmaschinen-, das Autoöl. Wie man sieht, werden jedes Mal ganz andere Suchräume im Gegebenen aufgeschlossen. Vielleicht wird man eine Speiseölfunzel herstellen.

Hätten wir uns stattdessen entschlossen, z. B. eine geforderte aber nicht vorhandene Taschenlampe herzustellen, könnte Analoges geschehen, z. B. eine Batterie aus Vorhandenem zu erzeugen, oder allgemeiner einen Stromerzeuger.

### 3.7 Offene und geschlossene gegebene Objekte

Theoretisch offene oder geschlossene Objekte können auch bei gegebenen Objekten auftreten. Z. B. ist ein Feldstein ein offenes Objekt solange nicht klar ist, wie er es macht, hart zu sein. Er ist nach unten noch offen, während nach oben eine geschlossene Suprastruktur existieren kann, z. B. wenn er Teil einer Feldsteinmauer ist.

Die Flintsteinknolle, in die der Faustkeil hineingesehen wird, ist oberhalb von diesem offen, solange noch keine Abbaustruktur in sie hineingeplant wurde.

Ein Auto ist für den Automechaniker ein geschlossenes Objekt. Er weiß, wie das Objekt und seine Teile und Unterteile im Zusammenspiel funktionieren. Natürlich stößt auch er an untere (Auflösungs-)Grenzen, wo er nur noch weiß, dass das Teil die geforderte Eigenschaft erbringt, nicht aber mehr wie. Das ist dann seine Reparaturgrenze. Er kann das Teil nur noch austauschen, nicht aber aus noch kleineren Teilen zusammensetzen.

Ist jedoch zum Austausch eine Ausbauhierarchie zu kennen und kennt er diese nicht, kann das Auto für ihn in Bezug auf diesen Ausbau nach oben noch offen sein.

Wie man auch sieht, kann das, was für den Experten ein geschlossenes (einsichtiges) Objekt ist, für den Anfänger ein offenes Objekt sein.

### 3.8 Verschiedene Strukturen in denselben Objekten

Dass ein Objekt in Sach- bzw. Personalunion Teil mehrerer Kontexte sein kann, ist bekannt, z. B. wenn man zuhause Sohn ist, in der Universität Student, im Handballverein Torwart und im Orchester die 2. Geige.

Wie wir aber gerade sahen, können sogar überhalb desselben Teils in einem selben Ganzen verschiedene Suprahierarchien gesehen werden, in Abhängigkeit davon, zur Lösung welchen Problems welche Hinaufsicht benötigt wird. Und umgekehrt können in dieselbe Ganzheit ganz verschiedene Strukturen hineingesehen werden. So zeigen uns Umspringbilder, wie die ganz unten liegenden selben Bildpunkte zu völlig verschiedenen hierarchischen Ganzheiten organisiert werden können. Ein geübter Schachspieler vermag dieselbe Stellung in ganz verschiedener Weise zu interpretieren/einzusehen, jeweils andere Hierarchien von Mustern bildend, z. B. Angriffs- und Verteidigungsstellungen, je nach hypothetisch von ihm eingeführter Forderung von oben, damit auch ganzen Figurstellungen und über diese auch einzelnen Figuren immer wieder andere Funktionen versuchsweise zuordnend und prüfend, ob von unten die Figuren(-stellungen) die Forderungen auch erfüllen. Wenn wir in diesen Beispielen von derselben Ganzheit sprechen, von *einem* Umspringbild bzw. *einer* Schachstellung, obwohl jedes Mal qualitativ verschiedene Ganzheiten über den Elementen erzeugt werden, dann deswegen, weil in einem übergeordneten Zusammenhang das Bild bleibt und Stellung Stellung. Solchen Ganzheiten können unter einer neuen Perspektive neue Eigenschaften/Strukturen angetragen werden, wobei sie auch nicht jedes Mal bis zu ihren Elementen neu strukturiert werden müssen. Wenn man z. B. eine Torte betrachtet, dann hat sie unter dem Aspekt ihrer Herstellung bereits eine Aufbau-Infrastruktur, z. B. mehrere Biskuit-Schichten und dazwischen Füllungen. Dann aber soll sie aufgegessen werden, wozu sie jetzt in Stücke eingeteilt

wird, d. h. in neuer Weise strukturiert wird, wobei sich Form und Größe nach vorgegebenen Wünschen richten. Zu Teilen der Torte werden die Stücke erst jetzt, mit der Neueinteilung, vorher gab es sie nicht. Die Torte wird jetzt zusätzlich als ein quantitatives Ganzes gesehen, das in quantitative Teile zerlegt wird. Der lebende Baum hatte in der Sicht des Pflanzenphysiologen eine wohlgeordnete Infrastruktur, die seine Lebensweise im Kontext seiner Umwelt erklärte. Vom Holzhändler aber wird er unter einer anderen Perspektive völlig neu eingeteilt. Deshalb auch bleibt nach dem Fällen nicht die Wurzel übrig, sondern der Stubben. Zu dieser Art zielorientierter Neueinteilung bereits strukturierter Ganzheiten gehört auch die Leistung des KÖHLERSchen Affen, rückwärts fordernd den Ast vom Baum „loszusehen“ (KÖHLER 1921, S. 75), d. h. in ihn den geforderten Stock (hin-)einzusehen und diesen danach vorwärts-abwärts durch Ausbau/Abspaltung herzustellen und zum Herankratzen einer Banane zu verwenden.

Wie das Beispiel mit der Torte zeigt, werden qualitativ strukturierte Ganzheiten öfters zusätzlich quantitativ eingeteilt. Zwar liegt nur eine Torte vor, gemeint sind aber zwei verschiedene Ganzheiten mit jeweils anderen Eigenschaften aufgrund anderer Infrastrukturen. Ist die Summe der Teile als geforderte ganzheitliche Eigenschaft gemeint, z. B. der Hinweis zu Kontrollzwecken, dass ein Metallbalken aus 250 Teilen besteht, dann werden die Teile unabhängig von ihren Qualitäten/Eigenschaften zu der *einen* Zahl als zum quantitativen Ganzen 250 vereinigt. Der berühmte Satz, dass das Ganze mehr als die Summe seiner Teile sei, z. B. eine Melodie, scheint danach nicht zu bemerken, dass in Objektunion zwei verschiedene Ganzheiten vorliegen können, nicht nur die qualitative Struktur, die wohl eine a priori höhere Wertschätzung/Bedeutung von oben erhält, sondern dass unter einer anderen Fragestellung auch mal die Summe gemeint sein kann und dann „mehr“ bedeuten müsste, „mehr“ also im Sinne einer geforderten Eigenschaft. Z. B. ist bekannt, dass bei Schulaufsätzen auch die Zahl der Wörter gezählt wird, um die Zahl der Fehler in einen gerechten Zusammenhang zu bringen.

### *3.9 Aufbau-, Abbau-, Abbau-Aufbau- und Aufbau-Abbau-Hierarchien*

Zur Herstellung von Objekten kann es ganze Aufbauhierarchien geben, eventuell „von der Pike auf an“. Dann ist die Erzeugung der Eigenschaften der Teile einer jeweiligen Stufe nur Voraussetzung zur Erzeugung der nächsthöheren Ganzheit, und deren Erzeugung Voraussetzung für die Erzeugung der wieder nächsthöheren Ganzheit. Statt von jeweiligen Voraussetzungen spricht man auch von Zwischenzielen. Man baut auf, um danach weiter aufbauen zu können. Gemäß der zuvor geplanten Abwärtsforderung des Ganzen an seine Teile und diese an ihre Unterteile kommt die Bedeutung/geforderte Eigenschaft eines jeden Zwischenziel-Teils von oben.

Ebenso sahen wir, dass es zur Herstellung von Objekten ganze Abbau-Hierarchien geben kann. Dann gilt das jeweils abgespaltete Teil, genauer die durch die Abspaltung hergestellte weitere Ab- bzw. Aufspaltungs-Eigenschaft, als Voraussetzung/Zwischenziel für eine weitere Abspaltung. Es können sich so Abbau-Hierarchien großer Planungstiefe ergeben, wie es z. B. bereits bei der Herstellung von Faustkeilen (vgl. KLIX 1993, S. 69) der Fall gewesen ist. Die Bedeutung eines jeden Zwischenziel-Teils kommt nun von unten.

Bei den weitaus meisten der von Menschen hergestellten Objekte erkennt man jedoch Kombinationen von Abbau und Aufbau, oft komplex miteinander verquickt. Um z. B. die erfolgreiche Waffe „Speer“ zu konstruieren, ist der Ast vom Baum als Stock abzutrennen (Abbau), ferner die Steinspitze vom gegebenen Stein abzuspalten (Abbau), um sodann beide Zwischenziele in geeigneter Weise zum neuen Ganzen zu verbinden (Aufbau). Dagegen liegt eine Aufbau-Abbau-Sequenz vor, wenn zuerst z. B. ein Laib Brot erzeugt wird um anschließend das anvisierte Stück Brot vom Ganzen abzuschneiden. Oder wenn zuerst zur Bestimmung der Fläche eines Dreiecks die Fläche eines Parallelogramms berechnet und davon anschließend die Hälfte (an der Diagonalen) abgeteilt wird.

### *3.10 Abbau- und Aufbau-Operatoren*

Bei Aufbauprozessen sind naturgesetzliche oder geistige Relationen zu stiften, bei Abbauprozessen aufzuspalten. Dazu sind jedoch andere Gesetzmäßigkeiten unter Aufwendung von Energie als „Handlungen“ in Gang zu setzen, die die gewünschte Vereinigung zu einem Ganzen oder die Aufspaltung von Ganzheiten bewirken. Zu lernen ist also immer, was wie zum gewünschten Neuen vereinigt oder aufgespalten werden kann; ein zielorientiertes Lernen, so dass dem „was“ aufgrund gelernter Herstellungswissens meistens schon wegweisergleich angesehen wird, welches Neue mit oder aus ihm vorwärts hergestellt werden kann. Da jedoch die Zielförderung zuerst entsteht, können mithilfe solcher bedarfsorientiert gelernter Handlungen rückwärts-abwärts oder rückwärts-aufwärts jene Zustände gefordert/geplant werden, mit denen oder aus denen das Ziel erfahrungsgemäß hergestellt werden kann. Mit den Handlungen werden nicht konkrete Handlungen gelernt, sondern solche mit Ein- und Ausgangsklassen, so dass konkret verschiedene Zustände, die in die Eingangsklassen passen, auf abstrakt gleiche Weise in konkrete Zustände der Ausgangsklassen umgewandelt werden. Die Handlungsklassen werden Operatoren genannt, die konkrete Anwendung eines Operators heißt Operation. Möchte man den Aspekt der Umwandlung hervorheben, wird statt von Operatoren auch von Transformationsklassen gesprochen.

Die Erläuterung der Bedeutung gelernter Operatoren für die Praxis der Findung von Lösungen würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Insbesondere gehört dazu auch die zentrale Fähigkeit, in Metaphern zu denken, ein bislang eher von Linguisten, kaum jedoch von der Denkpsychologie untersuchtes Denken.

## **4 Anwendung der skizzierten Suchtheorie: Reanalyse des DUNCKERschen Pendelproblems**

Dieser hier sehr kurz umrissene Entwurf wesentlicher Züge einer Theorie des Problemlösens auf der Basis einer angenommenen Wechselwirkung zwischen dem Ganzen und seinen Teilen genügt, um alle DUNCKERschen und WERTHEIMERschen Problemstellungen unter einen einzigen theoretischen Hut zu bringen. Auch das kann hier nicht gezeigt werden. (Wir verweisen jedoch in der unten angegebenen Literatur auf bereits publizierte Reanalysen anderer in der Literatur der Problemlöse-

psychologie wohlbekannter Problemstellungen.) Allgemein kann gesagt werden, dass „aufgrund“ einer vorgegebenen Fragerichtung mitunter nur nach unten zu suchen ist, mitunter nur nach oben, mitunter aber auch in beiden Richtungen, d. h. Lösungen in beiden Richtungen liegen können. Um Letzteres zu demonstrieren wählen wir das DUNCKERsche Pendelproblem aus. Wir versuchen damit auch gleichzeitig, die Findung der von ihm bei diesem Problem angegebenen Lösungsvorschläge zu erklären.

„Sie wissen, was ein Pendel ist und dass so ein Pendel bei der Uhr eine wichtige Rolle spielt. Damit nun eine Uhr präzise geht, müssen die Pendelschwingungen streng gleichmäßig sein. Die Schwingungsdauer eines Pendels hängt aber ab u. a. von seiner Länge und diese bekanntlich wieder von der Temperatur. Eine Erwärmung bewirkt Ausdehnung, eine Abkühlung Zusammenziehung, allerdings bei verschiedenem Material in verschiedenem Ausmaß. Jede Temperaturschwankung würde also die Länge des Pendels verändern. Die Uhr soll aber einen absolut gleichmäßigen Gang haben. Wie ist das zu erreichen? -- Übrigens, die Länge eines Pendels ist lediglich definiert durch den gradlinigen Abstand zwischen Aufhängepunkt und Schwerpunkt. Nur auf diese Länge kommt es an, das Pendel kann im übrigen aussehen, wie es will“ (DUNCKER, S. 7).

### *Gegebene Situation*

Es liegt eine bereits konstruierte Pendeluhr vor, die sich in einer Umwelt mit Temperaturschwankungen befindet. Die Uhr geht ungenau, da das Pendel je nach vorherrschender Temperatur seine Länge verändert. Die Uhr ist damit bereits Teil eines Kontextes, der auf das Teil einwirkt und eine nicht gewünschte Eigenschaft aufruft.

### *Zielsituation*

Gewünscht ist ein genau gehende Uhr, diese fordert von ihrem Teil „Pendel“ ein gleichmäßiges Schwingungen zwecks gleichmäßiger Zeiteinteilung.

### *Logik der Lösungssuche*

Das Problem wird auf der Ebene des Uhrteils „Pendel“ formuliert: „Das Pendel funktioniert nicht wie gewünscht“. Es stellt sich die Frage, wo der „Grund des Übels“ (DUNCKER) zu suchen ist, außerhalb (oberhalb) des Pendels oder innerhalb (unterhalb). Im ersten Fall liegt er in den von außen kommenden Temperaturschwankungen, im zweiten Falle in der Konstruktion (Infrastruktur) des Pendels, das diesen Schwankungen nicht genügend „angepasst“ ist. Je nach hypothetischer Lokalisierung des Grundes ergibt sich von der Ebene des Zielganzen „funktionierendes Pendel“ eine Rückwärtssuche als Aufwärts- oder Abwärtssuche, um dort, wo das Übel geortet wird, etwas zu unternehmen, mit entsprechender Wechselwirkung nach unten auf das Pendel oder nach oben auf das Pendel. Meint man, dass der Grund „außen-oben“ liegt, so wäre die (Temperatur-)Umwelt dem Pendel anzupassen. Meint man dagegen, dass der Grund „innen-unten“ liegt, in einer unzureichenden Konstruktion des Pendels, wäre dieses der (Temperatur-)Umwelt anzupassen. Dann muss versucht werden, durch eine geeignete Um- oder Zusatzstrukturierung des Pendels die Temperaturschwankungen unwirksam zu machen, so dass eine konstante Länge des Pendels ermöglicht wird.



*Aufwärtssuche*

Pendel schlagen unter idealen Bedingungen gleichmäßig. Die Idee einer Pendeluhr ist, dieses physikalische Prinzip zu einer gleichmäßigen Zeiteinteilung auszunutzen. Gleichgültig, wie langsam oder schnell ein Pendel schlägt, wenn es gleichmäßig schlägt, hängt es nur vom Umsetzungsverhältnis ab, eine Stunde in 60 gleich lange Intervalle einzuteilen. Ideale Bedingungen sind in der normalen Umwelt jedoch nicht gegeben, sondern viele Störeinflüsse wie z. B. Luftwiderstand, Reibung, Feuchtigkeit, Stöße, Temperaturschwankungen, vor allem die letzteren.

Aus erfolgreichen Lösungen vieler anderweitiger Probleme sind allgemeine Operatoren bekannt, wie solchen Einflüssen begegnet werden kann. Wir erläutern einige, ohne hier eine Systematik anzustreben. Eine solche wäre jedoch von großem Wert.

Man könnte z. B. versuchen, die oben liegende Ursache zu **beseitigen**. Das geht in vielen Fällen, z. B. bei einer Lärmbekämpfung die Lärmquelle zum Schweigen zu bringen. Im vorliegenden Fall hieße es jedoch, die Ursache der Temperaturschwankungen ausschalten zu wollen. Das ist nicht möglich.

Man könnte z. B. versuchen, störende Einflüsse zu **(ver-)meiden**. Meiden meint, ihnen aus dem Weg zu gehen. Eine Vermeidung von z. B. Bewegungen und Stößen liegt vor, wenn man die Pendeluhr an die Wand hängt. Als Taschenuhr wäre sie nicht geeignet. Eine Vermeidung von Temperaturschwankungen wäre möglich, wenn man die Pendeluhr an Orten mit konstanter Temperatur aufhängen würde, z. B. in Höhlen oder Bergwerken. Eine akzeptable Lösung ist das dann nicht, wenn eine stillschweigende Mitforderung an die Uhr ist, in der eigenen Wohnung die Zeit anzuzeigen.

Man könnte z. B. versuchen, die Uhr gegen Temperaturschwankungen **abzuschirmen**. Abschirmen meint, einen explizit gebauten Schirm zwischen den Einflüssen von außen und der Uhr zu schieben. Abschirmen (schützen) soll z. B. der Regenschirm, die Kleidung, die Schuhe, die Hütte, die hohe Klostermauer, der Burggraben, die Zollschranken, die Verpackung, das Schallschluckfenster. Abschirmung der Uhr gegenüber Feuchtigkeit und Staub besteht in einer guten Dichtung. Um die Uhr jedoch gegenüber Temperaturschwankungen abzukapseln, müsste man sie mit einer isolierenden Hülle mit sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit umgeben.

Man könnte z. B. versuchen, die Einflüsse zu **kompensieren**. Kompensation liegt vor, wenn störende Einflüsse nicht verhindert werden können und man für eine zweite Ursache sorgt, deren Wirkung den störenden Einflüssen entgegengesetzt ist und diese dadurch unwirksam macht/ausgleicht/neutralisiert. Kompensation liegt z. B. vor, wenn das Auto mit Federungen und Stoßdämpfern ausgerüstet wird, die Pupille sich weitet und wieder verengt, oder man, statt die Ursachen der Erhöhung des Meeresspiegels zu bekämpfen, höhere Deiche baut. Kompensation läge in unserem Falle vor, wenn die Uhr in einem klimatisierten Raum aufgehängt werden würde. Ein solcher Raum hat einen Mechanismus, der bei Abkühlung für Wärmezufuhr und bei Erwärmung für Abkühlung sorgt.

Wie man sieht, kann es Lösungen außerhalb des Pendels geben. Ob sie allerdings verwirklicht werden, hängt von zusätzlichen Eigenschaftsforderungen ab.

*Abwärtssuche*

Wenn wir von der Ebene/Ganzheit eines schon konstruierten, aber wegen der Temperaturschwankungen ungleichmäßig schlagenden Pendels ausgehen, wird bei einer Abwärtssuche der Grund des Übels im Pendel gesehen, in einer ungeeigneten Infrastruktur. Der Grund ist auch bereits bekannt. Er liegt in der Eigenschaft des Pendelkörpers, sich bei Erwärmung auszudehnen und bei Abkühlung zusammenzuziehen. Wie auf jeder Ebene kann man auch jetzt versuchen, dem Übel mithilfe der eben erörterten allgemeinen Operatoren abzuhelpfen.

**Beseitigen** kann man den Grund nicht. Er liegt tief im atomaren Aufbau des Pendelmaterials. **Vermeiden** hieße, nach einem anderen Material zu suchen, das sich nicht ausdehnt, oder nur so gering, dass eine geforderte Ganggenauigkeit eingehalten werden könnte. (Fast) alle physikalischen Körper dehnen sich jedoch bei Erwärmung aus, wenn auch mehr oder weniger. **Abschirmen** des Pendels hieße, es mit einer isolierenden Hülle zu umgeben, die dann Teil des Pendels werden würde. Das könnte bei kurzfristigen kleineren Temperaturschwankungen erfolgreich sein, über längere Zeit aber würde sich die Umgebungstemperatur durchsetzen.

Schließlich könnte versucht werden, eine **Kompensation** zu verwirklichen. Sie müsste dafür sorgen, dass die Länge des Pendels bei Ausdehnung um den überschüssigen Betrag gekürzt und bei Zusammenziehung um den verschwundenen Betrag verlängert wird. Dieser Versuch der Übertragung (Metapher) des bereits anderweitig erworbenen Wissens von der Möglichkeit einer Kompensation führt damit zur Forderung eines neuen Pendels als einer neuen Ganzheit mit der neuen Eigenschaft temperaturunabhängigen Schwingens, eines Pendels mit einer „teilweise“ neuen Infrastruktur, die jetzt zusätzlich die Forderung der Kompensation zu erfüllen vermag. Das neue Pendel müsste aus zwei Teilen bestehen:

- a) aus einem neuen Pendelteil, das die Funktion der Kompensation in Bezug auf die Eigenschaft „Länge“ des bisherigen Pendels haben soll,
- b) aus dem bisherigen Pendel.

Beide Teile müssen in der neuen Ganzheit in einer ganz bestimmten Beziehung zueinander stehen, eine Beziehung, die eben die neue Ganzheit ausmacht mit der von ihr geforderten neuen Eigenschaft. Im neuen Kontext soll das Kompensationsteil die Aufgabe erfüllen, die Eigenschaft „Länge“ des bisherigen Pendels um so viele Längeneinheiten zu reduzieren bzw. verlängern, wie sie sich über ihre Voreinstellung ausdehnt bzw. zusammenzieht. Das müsste schnell geschehen, damit zeitweilige Abweichungen sich nicht auf die Ganggenauigkeit auswirken können.

Funktionsforderungen sagen nichts über die Art ihrer Realisierung aus, also nichts darüber, wie geeignete Infrastrukturen auszusehen haben noch wie sie zu (er-)finden sind. Um Letzteres jedoch zu leisten, kann wieder versucht werden, hypothetische Strukturen durch Übertragung (Metapher) bereits bekannter allgemeiner Operatoren (Erfahrung) zu entwerfen.

Anzuwenden ist jetzt offensichtlich das Reiz-Reaktionsmodell. Das zu strukturierende Kompensationsteil soll auf Temperaturveränderungen durch Veränderungen der Pendellänge reagieren. Z. B. könnte es feststellen, um wie viele Maßeinheiten die Temperatur von einer theoretisch geforderten abweicht, jener, bei der die Länge des

Pendels mit seiner geforderten/voreingestellten übereinstimmt. Entsprechend einer bestimmten naturgesetzlich vorgegebenen Relation von Temperatur- und Längenveränderung hätte es das Pendel zu verlängern bzw. zu verkürzen, so dass es immer seine theoretisch geforderte Länge behält. Statt der Temperatur könnte das Kompensationsteil vielleicht auch die Längenabweichung selbst messen und diese dann berichtigen. Das geforderte Kompensationsteil müsste wohl gemäß Modellübertragung ein Mess- bzw. Inputteil, ein Vergleichsteil und ein Reaktions- bzw. Outputteil haben.

Diese drei versuchsweise entworfenen Teile des geforderten Kompensationsteils sind ihrerseits aber noch zu allgemein, um sie realisieren zu können. Es muss versucht werden, sie in weiterer Abwärtssuche ihrerseits aufzuteilen/zu konkretisieren.

#### *Versuch der Konkretisierung des Reiz- und des Vergleichsteils*

Wie Temperaturen oder Längen gemessen werden ist bereits bekannt. Temperaturveränderungen werden allgemein durch die Ausdehnung/Zusammenziehung von Körpern gemessen. Man könnte also ein Thermometer verwenden. Dieses hätte den Vorteil, gleich auch ein Vergleichsteil mitzuliefern. Abweichungen von der idealen Temperatur müssten dann registriert und in Längenkorrekturen umgerechnet werden und als Forderung an das Reaktionsteil weitergegeben werden. Aber man könnte auch das sich ausdehnende/zusammenziehende Pendel selbst als Reizteil benutzen. Allerdings würde dann das Vergleichsteil noch zu konstruieren sein. Da das Pendel oben angehängt bzw. mit der Uhr zwecks Taktgebung in festem Kontakt ist, kann es sich nur nach unten ausdehnen. Das Ausmaß solcher Längenveränderung am unteren Ende des Pendels wäre genügend genau zu erfassen und als Korrekturvorschrift an das Reaktionsteil weiterzugeben. Das Unterproblem wäre jedoch, dass zur Erfassung der Längenveränderung ein Maßstab/Zollstock materiell zu konstruieren wäre, der selbst dem Temperatureinfluss ausgesetzt wäre. Das Problem muss letztlich auch beim Thermometer vorliegen.

#### *Versuch der Konkretisierung des Reaktionsteils*

Gemäß den Vorgaben des noch nicht konzipierten Vergleichsteils müsste das Pendel verlängert bzw. verkürzt werden. Allgemein geht es dabei um die Anhebung bzw. Absenkung des Schwerpunkts, was konkret in sehr verschiedener Weise geschehen könnte. Der Kürze halber planen wir jedoch gleich abwärts in Richtung bereits materialisierter Pendellängen, so dass es um ein konkreteres Vorwissen über verstellbare Längen gehen muss. Auch untersuchen wir nur zwei Vorschläge (versuchsweise Erfahrungübertragungen) in diese Richtung.

Bestände die Länge z. B. aus einem Band, so könnte man das Pendel oben über eine Rolle laufen lassen und so die Länge des Pendels über einen beweglichen Aufhängepunkt steuern. Das außerhalb des Pendels liegende Teil, das das Pendel zu verlängern bzw. zu verkürzen hätte, wäre das Reaktionsteil. Der Lösungsvorschlag ist jedoch zu verwerfen, weil das Pendel zwecks Schwingungsübertragung eine feste Verbindung mit der Uhr haben muss. Es wird daher aus einem festen Stoff herzustellen sein, z. B. als Metallschiene.

Man könnte zweitens das Pendel sich teleskopartig ineinander verschieben lassen. Dehnte sich das bisherige Pendel aus, so hätte ein zweites ausgleichendes Teil sich in dieses hineinzuschieben, verkürzte es sich, so hätte es sich wieder hinauszuschieben.

Dieser versuchsweise Entwurf (als Metapher, durch Übertragung einer Gestalt) widerspricht nicht der Pendelfunktion. Es würde sich ja um einen pendelinternen Vorgang handeln. Es kann daher weiter untersucht/konkretisiert werden, wie die Ausgleichsbewegungen des zweiten Teils verursacht und gesteuert werden könnten.

Das Pendel bewegt sich bereits durch Ausdehnung/Zusammenziehung ohne zusätzliche Energiezufuhr, allein aufgrund der Umgebungstemperatur. Die Überlegung liegt nahe, ob dieses Naturgesetz nicht auch für die Bewegung des ausgleichenden Teils in die Gegenrichtung genutzt werden könnte, auch wieder eine Übertragung („Überlegung“) bereits vorhandenen Wissens. Das hieße, dass, wenn sich das Pendel ausdehnt/zusammenzieht, gleichzeitig eine Zusammenziehung/Ausdehnung des zweiten Teils um den gleichen Betrag in die jeweilige Gegenrichtung stattzufinden hätte. Das könnte geschehen, indem es unten am Pendel befestigt werden würde.

Diese Lösungs idee in Bezug auf die geforderte Funktion der Längenkorrektur eines Reaktionsteils impliziert jedoch noch mehr. Sie schlägt gleichzeitig auch Lösungen für die oben noch ungelösten Probleme der Messung der Temperatur- bzw. Längenmessung und des Vergleichs mit der idealen Temperatur bzw. Länge vor. Ein gesondertes Messteil wäre nicht mehr notwendig. Das Reaktionsteil selbst würde Temperaturschwankungen registrieren und direkt in Längenkorrekturen umsetzen. Und ein gesondertes Vergleichsteil wäre auch nicht mehr notwendig. Wenn das Reaktionsteil aus dem gleichen Baumaterial wie das Pendel ist, müsste es nur noch die gleiche Länge besitzen, um sich um genau jenen Betrag in die Gegenrichtung auszudehnen/zusammenzuziehen wie das Pendel selbst. Der geforderte Vergleich mit der idealen Länge entspräche also der Forderung gleichen Baumaterials und gleicher Länge von Pendel- und Reaktionsteil. Kurz, das Reaktionsteil würde auch Reiz- und Vergleichsteil sein, es würde alle drei vom Reiz-Reaktionsmodell geforderten Funktionen übernehmen.

So elegant eine Lösung durch Kompensation damit sein könnte, so stellt sich doch ein neues Problem ein. Da das Kompensationsteil die gleiche Länge haben soll wie das Pendel selbst, müsste es ganz unten im Schwerpunkt angebracht werden und es würde in Gegenrichtung bis zum Aufhängepunkt reichen. Damit aber würde es nicht *zwischen* Aufhänge- und Schwerpunkt eingebracht werden und es könnte nicht für die Konstanz dieser Strecke durch Anhebung bzw. Absenkung des Schwerpunkts sorgen, denn darin hat seine Funktion zu bestehen.

Ein Vergleich der Anforderung an das Kompensationsteil und der Art seiner Erfüllung von unten zeigt, dass der Grund des neuen Übels im Material des Kompensationsteils anzusiedeln ist. Von diesem wird von oben nur eine (abstrakte) Längenkorrektur gefordert, jedoch kein bestimmtes Kompensationsmaterial, und folglich auch keine bestimmte Länge des Kompensationsteils. Das Teil könnte auch kürzer als das Pendel sein, Hauptsache es würde sich um den Betrag ausdehnen/zusammenziehen wie das Pendel selbst. Rückwärts-abwärts zu fordern und im Gegebenen zu suchen ist damit ein Material, das die Eigenschaft hat, sich bei gleicher Länge und gleichen Temperaturunterschieden mehr auszudehnen/zusammenziehen als das Material des eigentlichen Pendels. Wenn es also Baustoffe geben sollte, die sich bei gleicher Länge und

gleichen Temperaturunterschieden verschieden stark ausdehnen/zusammenziehen, so könnte dies doch noch eine Realisierung der geplanten Kompensationsteils ermöglichen. Tatsächlich sind Materialien mit verschiedenen „Ausdehnungskoeffizienten“ bereits bekannt. Damit ist eine Lösung im Grundsatz erreicht. In der Praxis werden die Verhältnisse zweier ausgewählter Koeffizienten nicht nur die beiden Baumaterialien von Pendel und Ausgleichsteil bestimmen, sondern auch das Verhältnis von Pendel- und Ausgleichlänge. Da es nur um dieses Verhältnis geht, kann das Kompensationsteil umso höher in die Pendellänge eingebaut werden, je kürzer es gegenüber dem Pendel ausfällt.

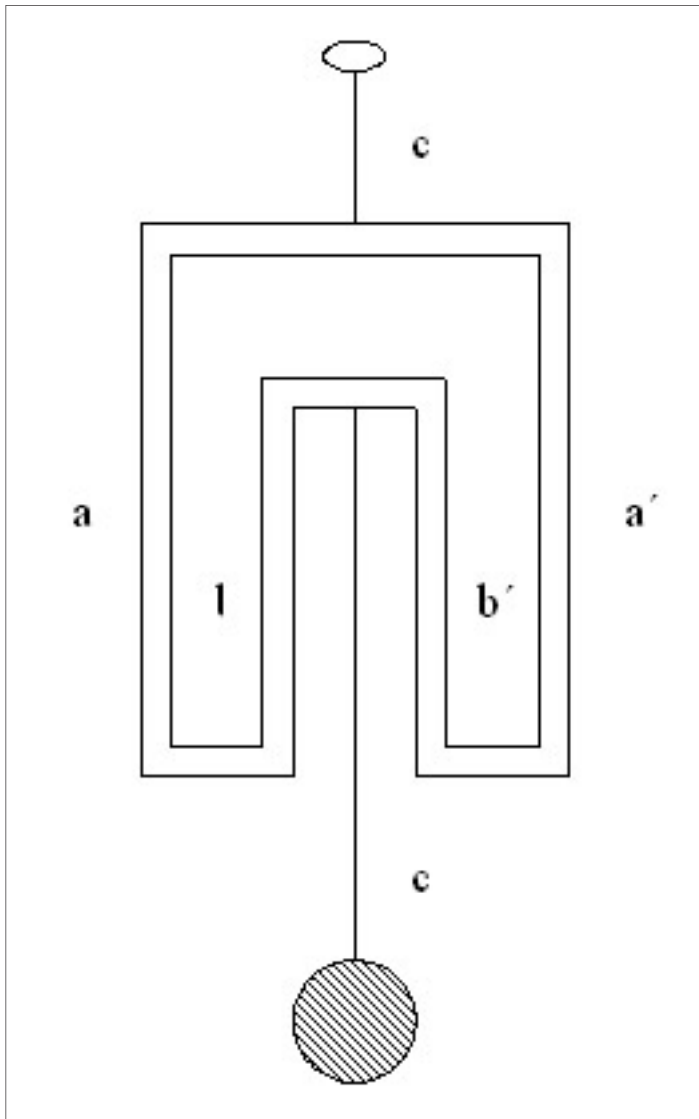


Abb. 1: Eine einfache Lösung des Pendelproblems nach DUNCKER S. 8.

Wir haben also einen Weg gefunden, wie DUNCKERs „einfache Lösung des Pendelproblems“ (DUNCKER, S. 8; vgl. die Wiedergabe seiner Abbildung durch unsere Abb. 1) von den Erfindern der Pendeluhr „entdeckt“ worden sein könnte. Wir sind damit in der Lage, diese Lösung „einzusehen“:

Die Länge  $c$  des Pendels ist definiert durch den gradlinigen Abstand zwischen Aufhängepunkt und Schwerpunkt. Unschwer erkennt man den Einbau des neuen teleskopartigen Kompensationsteils in den oberen Abschnitt des bisher ungenau arbeitenden Pendels. Das neue Teil besteht aus mehreren Unterteilen. Seine Teile  $a$  und  $a'$  können als Ausbuchtungen des bisherigen Pendels aufgefasst werden. Wie  $c$  können sie sich nur nach unten ausdehnen. Ihre Funktion darin, das Hineinschieben und Herausziehen des kompensierenden Teils  $b$  (bzw.  $b'$ ) zu ermöglichen. Durch ihre Einfügung wird  $c$  um den Betrag  $a - b$  verlängert, in Bezug auf die zu berücksichtigende Ausdehnung jedoch um den Betrag  $a$ , so dass  $b$  (bzw.  $b'$ ) die Ausdehnung/Zusammenziehung der Strecke  $c + a$  auszugleichen hat. Da  $b$  erheblich kürzer ist, muss es einen entsprechend größeren Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Die waagerechten Teile des Kompensationsteils können sich nur waagrecht ausdehnen, d. h. sie beeinflussen nicht die Pendellänge und damit nicht die vom Pendel geforderte Funktion.

### *Summary*

There are increasing demands to teach problem solving and critical thinking at school. No longer can schools merely teach the solutions to problems, but must also transfer the skills involved in searching for the solutions. Unfortunately however, there currently is no single established meta-theory of problem solving. The present approach argues that such a theory has to be an empirical one: it has to map objective structures of the outside world, approximating a general structure underlying all concrete objective structures. It is hypothesized that this general structure is an a priori mutual defining of a whole and its parts. Problem solving has to follow this reciprocal creation and maintenance, and doing so would mean further mental adaptation to the environment. Accordingly solutions can principally be found by reciprocal bottom-up and top-down searching. Thus every tried synthesis has to be proved by a reciprocal analysis, and every tried analysis by a reciprocal synthesis. Furthermore, the production of new objects out of given objects means the composition and/or the decomposition of hierarchical structures. In many respects this logic of searching follows the approach of DUNCKER and WERTHEIMER towards a theory of productive thinking, i.e. a theory of how to develop insight.

### *Zusammenfassung*

Zunehmend wird gefordert, problemlösendes Denken in der Schule zu lehren. Nicht länger soll es nur das Selbstverständnis der Schule sein, bereits gefundene Problemlösungen als Aufgabenlösungswissen auf die gegenwärtige Generation zu übertragen, sondern nunmehr auch ein Problemlösungswissen zu unterrichten, d. h. wie nach Lösungen zu suchen ist. Ein solches Metawissen fehlt aber noch, eine Theorie des Problemlösens nämlich. Der vorliegende Beitrag vertritt die Auffassung, dass eine solche eine empirische sein muss. Sie hat in der Außenwelt vorgegebene Sachverhalte abzubilden, genauer eine allgemeine Sachstruktur, die allen konkreten Sach- bzw. Wissensstrukturen unterliegt. Sie wird als eine vorgegebene Wechselwirkung zwischen dem Ganzen und seinen Teilen angenommen. Es ist diese gegenseitige Bestimmung (Erschaffung und Aufrechterhaltung), die jeweilige Suchprozesse zu leiten hat. Ein Denken, das ihr folgt, wäre eine (weitere) geistige Anpassung an vorgegebene Außenweltstrukturen. Danach können Lösungen prinzipiell durch eine sich gegenseitig bestimmende Über- und Un-

tersuche gefunden werden. Jede versuchsweise Synthese ist durch ihre Umkehrung, d. h. eine nachfolgende Analyse zu bestätigen, und jede versuchsweise Analyse durch eine nachfolgende Synthese. Ferner folgt, dass Herstellung gewünschter Objekte aus gegebenen Objekten prinzipiell durch Aufbau und/oder Zerlegung hierarchischer Strukturen geschieht. Die angenommene Suchlogik erscheint in gewisser Weise als Fortführung des WERTHEIMER-DUNCKERschen Forschungsansatzes hin zu der von ihnen erhofften Theorie produktiven Denkens bzw. einsichtigen Problemlösens.

### *Literatur*

- DUNCKER, K. (1963): *Zur Psychologie des Produktiven Denkens*. Unveränderter Nachdruck der ersten Auflage von 1935. Berlin: Springer.
- FILLBRANDT, H. (1986): Das Verkürzungskontinuum möglichen Lösungswissens beim Turm von Hanoi. Teil I. *Zeitschrift für Psychologie* 194, 464-587.
- FILLBRANDT, H. (1987): Das Verkürzungskontinuum möglichen Lösungswissens beim Turm von Hanoi. Teil II. *Zeitschrift für Psychologie* 195, 85-99.
- FILLBRANDT, H. (1988): Die Logik der Entdeckung des Lösungswissens bei Katonaschen Streichholzproblemen. *Sprache & Kognition* 7, 51-65.
- FILLBRANDT, H. (1989): Das Ganze und das Teil: Die Lösungslogik beim Neun-Punkte-Problem. *Archiv für Psychologie* 141, 9-26.
- FILLBRANDT, H. (1992): Zur Methode der Erforschung von Problemlöseprozessen. *Zeitschrift für Psychologie* 200, 3-18.
- GALLESE, V. & GOLDMAN, A. (1998): Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences* 2, 493.
- HUSSY, W. (1984): *Denkpsychologie*. Bd 1. Stuttgart: Kohlhammer.
- KLIX, F. (1993): *Erwachendes Denken*. Heidelberg: Spektrum.
- KÖHLER, W. (1921): *Intelligenzprüfung an Menschenaffen*. 2. Aufl. Berlin: Springer.
- STERNBERG, R.J. & DAVIDSON, J.E. (Eds.) (1995): *The Nature of Insight*. Cambridge/Mass: Bradford.
- WERTHEIMER, M. (1964): *Produktives Denken*. 2. Aufl. Frankfurt/M: Kramer.

### **Anschrift des Verfassers:**

Akad. Dir. Dr. Hartmut Fillbrandt  
Institut für Psychologie  
Olshausenstr. 40  
24098 Kiel