

Höhere Stufen der Wahrnehmung?

Alf C. Zimmer

Einleitung

Für jeden, der mit Büchern wie Aldous Huxleys "The Doors of Perception" (1954) oder denen von Carlos Castañeda (1968) bzw. Ornstein (1977², 1978) und Naranjo & Ornstein (1971) vertraut ist, in denen der Einfluß von Meditation, Yoga oder Drogen auf die Wahrnehmung untersucht wird, erscheint das Fragezeichen sicher unangebracht, doch in dem folgenden Text geht es nicht um Wahrnehmung unter eher außergewöhnlichen Umständen, sondern um die ganz alltägliche Wahrnehmung von Dingen, räumlichen Zusammenhängen und Bildern, doch auch dort gehen wir - wie schon Helmholtz oder unter ganz anderen Prämissen die Würzburger Schule - wie selbstverständlich von der Annahme aus, daß Wahrnehmung bei einfachen 'features', den 'Ansichtssachen' Demokrits (Farbe etc.) oder den einfachen 'ideas' John Lockes, beginnt und von dort zu immer komplexeren Leistungen - sei es durch 'unbewußte Schlüsse' oder durch Assoziationen - fortschreitet. Jedoch stehen dem Positionen - auch in der Alltagspsychologie - gegenüber, wonach 'wir nur sehen, was wir wissen', bzw. wonach die Gesamtkonfiguration bestimmt, wie das Detail wahrgenommen wird, auch wenn die Gesamtkonfiguration aus diesen Details besteht. Wenn aber wie in dieser gestalttheoretischen Position komplexe Prozesse für die Erkenntnis Priorität vor den einfachen Prozessen haben, dann verliert es seinen Sinn, von höheren bzw. niedrigeren Prozessen zu sprechen, da sie sich gegenseitig bedingen.

Viele Theorien der Wahrnehmung (z.B. alle, die auf Helmholtz zurückgehen) postulieren, daß ausgehend von dem Rohmaterial der Sinneseindrücke durch immer weitere zunächst unbewußte, dann bewußte kognitive Operationen erst das geschaffen wird, was als eigentliches Objekt der Wahrnehmung am Ende repräsentiert wird. Dieser "bottom-up"-Theorie der Wahrnehmung wird häufig die Gestalttheorie als "top-down"-Theorie gegenübergestellt, nach der erst die Gestalt bestimmt, was ein Detail bedeutet, oder ein Bezugssystem erst einer komplexen Szene den "Sinn" gibt. Einer solchen Auffassung scheint auch das Konzept von mehreren, in ihrer Höhe unterscheidbaren Stufen der Wahrnehmung zugrunde zu liegen, nur daß in der Gestalttheorie der Weg von oben nach unten beschritten wird, während in der kognitiven Theorie z.B. von Marr (1982) der Weg von unten nach

oben führt. Gerade aber als Gestaltpsychologe, der vom Köhler'schen Feldkonzept (1920) ausgeht, halte ich es für wichtig, dieses Fragezeichen zu setzen und meine These, die ich im weiteren hoffe, belegen zu können, lautet: Es gibt in der Wahrnehmung viele, auch in der Komplexität unterschiedliche Prozesse, diese sind jedoch nicht hierarchisch angeordnet, sondern interagieren wie Kräfte in einem Feld. Diese Interaktion kann kooperativ sein aber auch komplementär oder kompetitiv.

Es wird also das Konzept einer parallelen und verteilten Verarbeitung im Sinne von McClelland und Rumelhart (1986) in der Wahrnehmung ausgegangen, die als Gegenposition zur klassischen Konzeption einer hierarchischen Verarbeitung visueller Information verstanden wird. Zur Veranschaulichung dieser Position kann die Netzwerkmodellierung für die Umschlagphänomene beim Necker-Würfel genommen werden, wie sie aufbauend auf einem Modell von Feldman (1982) von Zimmer (1989) fortentwickelt worden ist: Man kann, wie Perkins (1968, 1972, 1973) aufbauend auf Guzman (1969) und andere Vorarbeiten im Bereich der 'Computer Vision' gezeigt haben, einen Necker-Würfel ökonomisch als Menge von "Gabeln" (forks) und "Pfeilen" (arrows) darstellen, die dann einen räumlichen Eindruck produzieren, wenn die folgenden Bedingungen gegeben sind (Perkins 1968, 1972, 1973):

1. Eine Gabelverbindung wird als Eckpunkt eines Würfels dann und nur dann wahrgenommen, wenn die Summe ihrer drei Winkel größer als 90° ist, und
2. eine Pfeilverbindung wird als Eckpunkt eines Würfels dann und nur dann wahrgenommen, wenn jeder der beiden Winkel weniger als 90° aufweist und die Summe der Winkel weniger als 90° ist (s. Abb. 1).

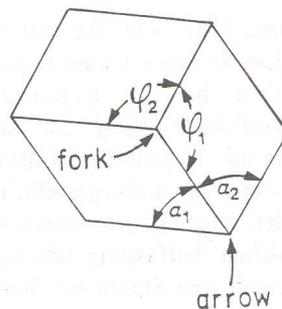


Abbildung 1: Die Darstellung der Perkins-Gesetze

Die pfeil- bzw. gabelförmigen Eckkonstellationen des Necker-Würfels können nun zwei verschiedene Orientierungen haben, nämlich konkav oder konvex. Nimmt man diese Eckpunkte als konstitutive Basaleinheiten für den Necker-Würfel und verbindet sie mit exzitatorischen und inhibitorischen Verbindungen sowie einer Autoinhibition, die der Sättigung Rechnung trägt, dann erhält man das folgende Modell (Abb. 2).

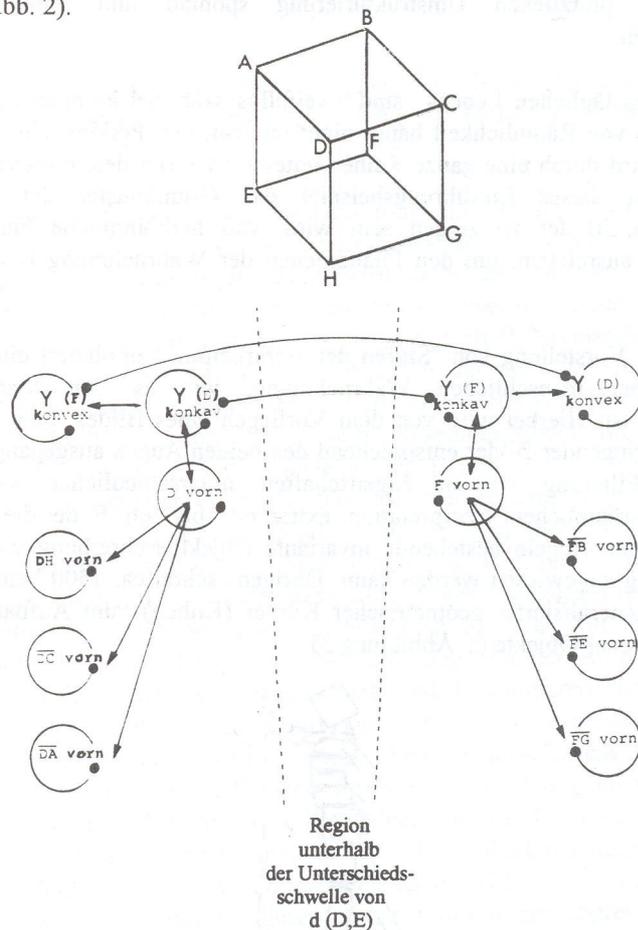


Abbildung 2: Das autoinhibitorische Modell für die Kippphänomene des Neckerwürfels. Verbindungen mit Pfeilkopf sind exzitatorisch und Verbindungen mit abgerundetem Ende sind inhibitorisch.

Die Eckpunkte mit positiver Erregung werden jeweils als konvex wahrgenommen, die mit negativer Erregung als konkav, dies führt aufgrund der Autoinhibition zu den bekannten Kipp-Phänomenen des Necker-Würfels. Die drei Prozesse der Exzitation, der Inhibition und der Autoinhibition sind kompetitiv; da sie nicht hierarchisch geordnet sind, entsteht das Phänomen der räumlichen Strukturierung sowie seiner plötzlichen Umstrukturierung spontan und wird dauerhaft aufrechterhalten.

Phänomene des täglichen Lebens sind zweifellos sehr viel komplexer, auch die Wahrnehmung von Räumlichkeit hängt nicht nur von den Perkins'schen Gesetzen ab, sondern wird durch eine ganze Reihe weiterer Faktoren determiniert, dennoch veranschaulicht dieses Einführungsbeispiel das Grundmuster der folgenden Argumentation, in der zu zeigen sein wird, daß herkömmliche hierarchische Ansätze nicht ausreichen, um den Phänomenen der Wahrnehmung Rechnung zu tragen.

Die klassische Vorstellung von "Stufen der Verarbeitung" impliziert ein "bottom-up"-Modell der menschlichen Wahrnehmung, wie es von Marr (1982) vorgeschlagen ist. Hierbei wird von dem Vorliegen eines Bildes, bzw. zweier in Deckung zu bringender Bilder entsprechend den beiden Augen ausgegangen, durch sequentielle Filterung werden Eigenschaften unterschiedlicher Komplexität inklusive der räumlichen Interpretation extrahiert, bis am Ende die z.B. aus verallgemeinerten Kegeln bestehende invariante Objektbeschreibung vorliegt, der eine Bedeutung zugewiesen werden kann. Übrigens schon ca. 1500 benutzt Dürer die Technik generalisierter geometrischer Körper (Kuben) zum Aufbau und zur Analyse komplexer Objekte (s. Abbildung 3)



Abbildung 3: A. Dürer (ca. 1500). Nach dem Studienblatt im British Museum

Wenn auch in der Detailarchitektur unterschiedlich, entspricht dieses Modell jedoch in seinen Grundgedanken dem klassischen neurophysiologischen Modell der rezeptiven Felder mit komplexen, hyperkomplexen Zellen usw. bis hin zur Großmutterzelle, bzw. der Zelle, die für Schimpansen eine Affenkralle repräsentiert (Gross, 1973).

Komplementär dazu ist die Vorstellung, daß die internen Zustände determinieren, was wahrgenommen wird, daß also komplexe Konstruktionsprozesse erst die "Wirklichkeit" schaffen.

Der gemeinsame Grundgedanke der bottom-up- und der top-down-Modelle ist die Idee, daß Wahrnehmung als eine Art Einbahnstraße zwischen bildhafter Vorlage und Bedeutung anzusehen ist. Dabei wird in beiden Ansätzen durchaus davon ausgegangen, daß auf den einzelnen Stufen massive Transformationen des Informationsmaterials geschehen, aber stets sequentiell aufeinander aufbauend, so daß eine spätere Verarbeitungsstufe nie die Funktionsweise einer schon vorher durchlaufenen Stufe beeinflusst. Spätestens jedoch seit den Untersuchungen von Trevarthen (1968) ist es deutlich, daß selbst in seinem Modell, die Einbahnstraßen-Charakteristik nur für eine der aufsteigenden Bahnen der Verarbeitung visueller Information gilt, nämlich für das System, das über das corpus geniculatum laterale zum Cortex (Area 17) geht, während der andere Weg über das Tectum schon im colliculus superioris von dieser Charakteristik abweicht, da hier abhängig von der eingehenden Information aus der Retina die Augenbewegungen gesteuert werden. Doch selbst wenn man der ersten aufsteigenden Bahn im Modell von Trevarthen folgt, stellt man fest, daß bei der Weiterleitung von der Area 17 zum Kortex temporalis inferior bzw. anterior einerseits und dem hinteren Parietalbereich eine Aufspaltung der Information derart geschieht, daß im ersteren Teil visuelle Diskrimination geleistet wird (inferior) bzw. Eigenschaftenextraktion (Größe, Farbe, Textur und Form) die für Identifikation und Wiedererkennen notwendig sind (anterior), während im hinteren Parietalbereich die Lokalisation der Objekte verarbeitet wird unter Einbeziehung auditorischer und taktiler Information (Mishkin und Ungerleider, 1982). Zwischenzeitlich haben Milner & Goodale (im Druck) nachgewiesen, daß selbst in diesen hirnanatomisch gut abgrenzbaren Gebieten multiple Funktionen zu finden sind, in denen Orts-, Objekt- und Eigenschaftsanalysen parallel ablaufen: "the inferior parietal lobule, in close conjunction with areas in the premotor and prefrontal cortex, provides a specialized set of semi-independent modules for the on-line visual control of action in primates" (ms. p. 5).

Es ist am Rande vielleicht interessant festzuhalten, daß im Schläfenlappenbereich motivationale und emotionale Faktoren noch keine Rolle zu spielen scheinen, was aus der Intensivität gegenüber Belohnungen und Bestrafungen hervorgeht; funktional wie auch neuropsychologisch ließen sich also die Eigenschaften, die dem Ausdruck und Eindruck entsprechen (Anmutungsqualitäten i.S. Metzgers), als "höhere Stufen" der Wahrnehmung bezeichnen, aber - und dies ist wichtig festzuhalten - diese höheren Stufen der Wahrnehmung sind zum einen das Resultat eines Wahrnehmungsprozesses, der nicht-linear und sequentiell ist, und zum anderen lenken diese "Eigenschaften höherer Ordnung" die Aufmerksamkeit über die Selektion von Teilbereichen des visuellen Feldes, die beachtet werden und bestimmen so das Phänomen der selektiven Aufmerksamkeit.

Die Beispiele, Detaildemonstrationen und -analysen, die bislang angeführt worden sind, ergeben ein Bild, das zumindest dann verwirrend bis widersprüchlich erscheint, wenn man von der Konzeption ausgeht, wonach alle durch die Sinnesorgane aufgenommene Information im menschlichen Geist in dessen eigene Sprache übersetzt wird, so daß Analyse- und Erkenntnisvorgänge nicht auf den Dingen an sich, sondern ausschließlich auf der mentalen Repräsentation aufsetzen, wie dies z.B. Fodor (1968) und Pylyshyn (1981) vertreten haben. Wenn diese Position korrekt wäre, dann müßten die "Widersprüchlichkeiten" der visuellen Wahrnehmung zu dem gleichen Effekt wie unsinnige Sätze oder Paradoxien führen, nämlich zur Unverständlichkeit. Aber gerade bei der Raumwahrnehmung kann man feststellen, daß die "Widersprüchlichkeiten" zwischen Verarbeitung linearperspektivischer Information, wie sie z.B. der Ponzo-Täuschung zugrundeliegt, von Größenkonstanz, die den Raumillusionen von S. Sidone von Turin oder S. Ignazio in Rom zugrundeliegt, und Formkonstanz, die daraus sichtbar wird, daß die Kugel, die Euklid in Raphael's "Schule von Athen" trägt, realistischer oder "richtiger" aussieht, als die eigentlich perspektivisch korrekte Ellipsenform (siehe dazu Zimmer (im Druck)), genau dazu führen, daß die Wahrnehmungswelt geordnet erscheint, bestehend aus invarianten Objekten und eindeutigen räumlichen Zuordnungen. Beides kann aber, wie die projektive Geometrie zeigt, nicht gleichzeitig gegeben sein, so daß ein Bild, das der Wahrnehmung am besten entspricht, im Sinne der perspektivischen Geometrie ein unmögliches Bild ist, worauf schon Panofsky (1980) hingewiesen hat.

I. Wie real sind die Wahrnehmungsdinge?

Selbst wenn man im Bereich des Funktionalen bleibt, legt die Geschichte der Philosophie eine weitere Interpretation des Konzeptes höherer Stufen der

Wahrnehmung nahe: Es ist dies die Position des Realismus, in der ja nicht nur im Gegensatz zum Skeptizismus angenommen wird, daß es eine "Welt da draußen" gibt und daß diese kausal auf uns als Wahrnehmende und Handelnde Organismen wirkt, sondern daß hinter, in oder neben den konkret sinnlich erfassbaren Objekten auch genauso real die Kategorien dieser Objekte bestehen, daß also z.B. die Klassifikation "Vogel" real sei und keine Konvention, wie es die Nominalisten von Roscelin über Hume bis zu Quine behauptet haben. Als typischer Vertreter des Realismus erweist sich Gibson (1973), wenn er schreibt: "... in any picture of a cat, *the young child sees catness and not the side view or the front view of a cat ...*" (S. 44).

In der klassischen griechischen Philosophie und speziell in der Scholastik wurden bezüglich des Realismus drei unterschiedliche Positionen vertreten, wonach erstens die Kategorien (oder in diesem Zusammenhang besser: Ideen) vor den konkreten Dingen bestünden und ursächlich für sie seien, diese Position geht auf Plato zurück (die "ante-rem-Hypothese"), zweitens daß die Kategorien in den Gegenständen selbst seien als globale Wesenseigenschaft, diese "in-re-Hypothese" wird auf Aristoteles zurückgeführt, und endlich drittens, daß die konkreten Gegenstände Ursache für die Kategorien seien, diese "post-rem-Hypothese" wird am extremsten im Nominalismus vertreten. Speziell die Aristotelische Auffassung, wonach Kategorien Wesenseigenschaften der konkreten Dinge seien und somit Teil der realen Welt, impliziert eigentlich eine Auffassung, wonach es unterschiedliche Stufen der Wahrnehmung gibt, wobei die Erkennung von Wesenseigenschaften die höchste wäre. Was in dieser Position unterbewertet wird, ist die Bedeutung des Wahrnehmenden im Wahrnehmungsprozeß; er wird wie in dem berühmten Diktum von Gassendi, wonach nichts im Geiste sei, was die Sinne nicht vermittelt hätten, als passives, ausschließlich registrierendes Instrument verstanden. Auf die Schwäche dieser Position hat zuerst Berkeley hingewiesen und in seiner idealistischen Deutung, wonach das Wahrgenommenwerden erst das Sein determiniert, dreht er die kausale Beziehung zwischen den Dingen der Welt und den Wahrnehmung von ihnen um. Moderne Vertreter dieser idealistischen Position sind z.B. Maturana und Varela sowie andere Vertreter des sog. "radikalen Konstruktivismus" (Maturana, Varela 1987; Schmidt 1987). M.E. stehen sich diese beiden Positionen jedoch nicht so unversöhnlich gegenüber, wie es ihre Vertreter üblicherweise postulieren; schon Leibniz hat darauf hingewiesen, daß das Diktum Gassendis unvollständig sei, denn der Geist selber sei natürlich im Geiste präsent, d.h., daß die Wahrnehmung der Dinge "da draußen" gleichermaßen von ihren physischen Gegebenheiten wie von der funktionalen Struktur des wahrnehmenden Geistes abhängen. Diese funktionale Struktur ist aber selbst ein Ergebnis der

Evolution, entstanden in einer Umwelt realer Objekte und unter dem Anpassungsdruck, wonach die Wahrnehmungsprozesse eine besonders hohe Chance der Beibehaltung und Fortentwicklung hatten, die dem wahrnehmenden Organismus Überlebensvorteile verschafft.

M.E. stützen die vorgelegten Befunde diese Position, wie sie z.B. von Shepard (1987) vertreten wird, d.h. daß wie von Koffka (1935) postuliert, sich die Wahrnehmungsmechanismen aufgrund eines besonderen evolutionären Vorteil herausgebildet haben; sie stützen sich einerseits direkt auf die analogen und kategorialen Eigenschaften der Umwelt, sind aber andererseits für kognitive Operationen i.S. der Wundt'schen Apperzeption offen. Ein Metapher für diese Position ist die Resonanz zwischen Eigenschaften der Umwelt und Eigenschaften der sie wiedergebenden mentalen Repräsentation (Shepard, 1984). Eine solche Position könnte man als Interaktiven Realismus bezeichnen, weil nämlich die Evolution sowohl der Sinnesorgane wie auch des menschlichen Geistes unter den gleichen Randbedingungen stattgefunden hat, unter denen auch die Umwelt existiert; so ist, wie Roth (1987) betont, die Sensitivität des Auges für den Bereich der elektromagnetischen Wellen zwischen 400 und 700 Nanometer Wellenlänge keineswegs Zufall, sondern entspricht exakt dem Energiemaximum im Sonnenlicht, so wie es auf der Erde ankommt; Augen, die für einen anderen Frequenzbereich empfindlich wären, müßten eine erheblich höhere Sensibilität aufweisen. Diese Interdependenz von Umwelteigenschaften und Eigenschaften der Wahrnehmung werden dann besonders spektakulär, wenn durch die Wahrnehmung die Handlungen des Organismus bestimmt werden, die die Umwelt in ganz bestimmter Weise verändern, wie dies Roger Shepard einmal ausgedrückt hat: "The world appears the way it does, because we are the way we are, because we have evolved in a world that is the way it is" (1981, S. 332).

Auf dieser Interdependenz zwischen Umwelt und wahrnehmendem Organismus setzt noch eine weitere Interdependenz zumindest beim Menschen ein, nämlich die Bestimmung der Wahrnehmung durch die Tatsache, daß ich üblicherweise gezwungen bin, über meine Wahrnehmung zu kommunizieren in einer Sprache und mit einem Hintergrundwissen, das meinen Kommunikationspartnern entspricht. Diese weitere Interdependenz hat zur sog. Sapir-Whorf-Hypothese geführt, wonach Sprache Wahrnehmung determiniere (Whorf, 1956); wie jedoch die Ergebnisse von Berlin und Kay (1969) oder Kay und McDaniel (1978) zeigen, verschwindet der Relativismus der Wahrnehmung dann nahezu vollständig, wenn nicht erinnerungsgebundene Identifikations-, sondern ausschließliche Vergleichsurteile gefordert sind; (wie jedoch die Untersuchung von Kay und Kempton (1984) zeigt,

unterscheiden sich jedoch - wenn auch geringfügig - die Farbräume von Versuchspersonen aus unterschiedlichen sprachlichen Kulturen dort, wo im einen Fall Grenzen zwischen zwei Farbkategorien auftreten und im anderen Falle nicht. Freyd (1983) hat in ihrem Konzept der 'shareability' diesem sozialen Einfluß auf die Wahrnehmung Rechnung getragen, indem sie postuliert, daß die 'Mitteilbarkeit' einer Erfahrung ihre Wahrnehmung mit bedingt.

Wenn - wie behauptet - die Prozesse der Wahrnehmung sich evolutiv unter den Randbedingungen der physikalischen Welt entwickelt haben, dann folgt daraus, daß die Wahrnehmung insofern intentional ist, als mentale Zustände auf Zustände der Welt bezogen sind, weil diese sie kausal beeinflussen. Wenn aber nun - wie die Netzwerkmodellierung des Neckerwürfels zeigt, elementare Wahrnehmungsprozesse sich in einem quasi-evolutionären Wettbewerbsprozeß befinden, der üblicherweise zu einem stabilen Perzept oder im Falle der Multistabilität zu mehreren führt, dann müssen die Bedingungen und Regeln dieses evolutionären Prozesses genauer analysiert werden. Formale Formulierungen finden sich in Rechenberg's evolutionären Algorithmen (1990) und in der Untersuchung des Verhaltens sog. zellulärer Automaten in Abhängigkeit des Parameters "lambda" (Li, Packard, Langton, 1990); darüberhinaus haben Reeke & Edelman (1984) aufbauend auf dem Konzept des neuronalen Darwinismus ein Modell der Wahrnehmung vorgestellt, in dem zwei Prozesse "Darwin" und "Wallace" vorliegen, die sich darin unterscheiden, daß in "Darwin" primär elementare features analysiert werden, während in "Wallace" sinnhafte komplexe Eigenschaften entscheidend sind. Auch wenn die auf diesem Modell basierenden Simulationsergebnisse maximal die Erkennbarkeit von Buchstaben darstellen können, stützen sie dennoch die Auffassung, daß eine direkte kompetitive Interaktion zwischen Prozessen unterschiedlicher Komplexität formal dargestellt werden kann.

Für eine solche Interaktion, die dem klassischen Konzept einer hierarchischen Verarbeitung in der Wahrnehmung widerspricht, gibt es überzeugende Beispiele. Abbildung 4a zeigt ein Gebilde, das einen Kompromiß zwischen einem Kreis und einem Quadrat darzustellen scheint; betrachtet man jedoch den Ausschnitt in Abb. 4b, dann stellt man fest, daß es sich bei diesen Gebilden in Wirklichkeit um perfekte Kreise handelt, deren "low-level-features" die komplexe Eigenschaft "Kreis" verzerren; Frazer hat Ähnliches schon 1903 am Beispiel einer scheinbaren Spirale gezeigt.

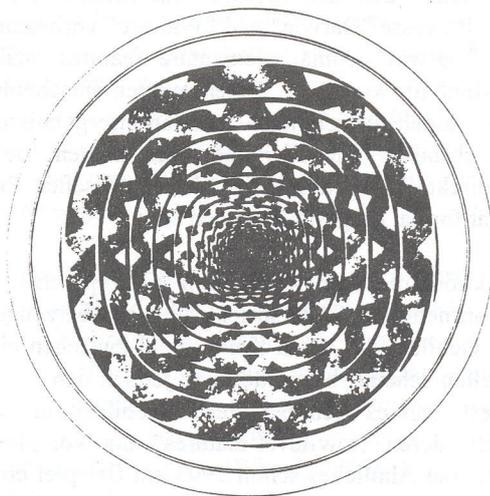
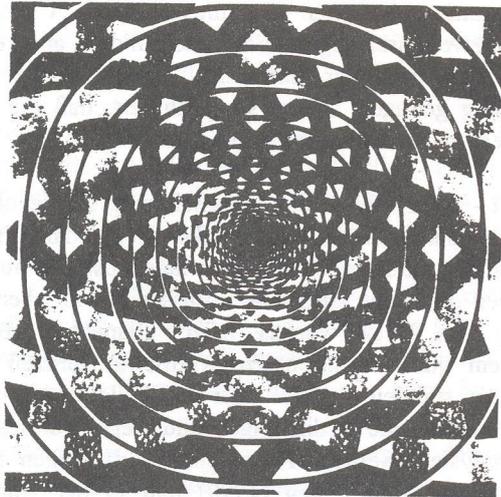


Abbildung 4: a) Eine scheinbar quadratisch verzerrte Form nach N. Snearl aus der Sammlung "Falsche Irrtümer",
b) Ein Ausschnitt aus der Abbildung a), der deutlich macht, daß es sich in Wirklichkeit um Kreise handelt

Aus gestaltpsychologischer Sicht besonders auffällig ist der anscheinende Widerspruch zur Tendenz zur guten Gestalt, denn der Kreis stellt zweifellos eine prägnante Form dar, während die ebenfalls prägnante Form des Quadrats im Vorlagematerial gar nicht präsent ist, insofern handelt es sich um einen anderen Typ von Täuschung als den der durch Linienüberlagerung entsteht, wie z.B. die Wundt-Täuschung. Hier scheinen also die "low-level-features" über die komplexen Eigenschaften zu obsiegen, anders sieht dies in Abb. 5 aus (Ramachandran, 1988): Wenn eine Versuchsperson aufgefordert wird, zu entscheiden, ob sich in A oder B eine eingebettete symmetrische Form befindet, dann wird stets A gewählt, obwohl sich in B eine Form eingebettet findet, die gleichzeitig horizontal und vertikal bilateral symmetrisch ist, diese wird aber üblicherweise überhaupt nicht als symmetrisch wahrgenommen.

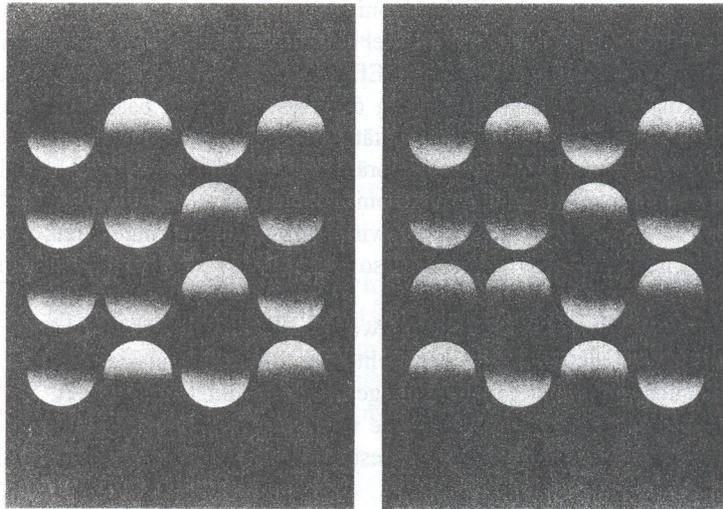


Abbildung 5: Aus Ramachandran (1988), hier wird nur die Symmetrie von Objekten im linken Bild, nicht aber die direkt bildhafte Symmetrie wie im rechten Bild gesehen.

Die Ursache dafür scheint darin zu liegen, daß in diesem Fall die Identifikation der Konstituenten der Form als erhabene Kugeln oder Halbkugeln über die auf "low-level-features" basierende Symmetriewahrnehmung obsiegt. In diesem Fall 'siegt' also die komplexe Eigenschaft "X ist ein kugelförmiges Objekt" über die eigentlich

direkt erfaßbare symmetrische Anordnung von unterschiedlichen Graustufen. Diese beiden Beispiele haben m.E. deutlich gezeigt, daß nicht nur im phylogenetischen Evolutionsprozeß ein Wettbewerb zwischen unterschiedlich effizienten Wahrnehmungsprozessen bestanden hat, der zu denen geführt hat, die z.Z. gegeben sind, sondern daß sich auch in jeder aktuellen Wahrnehmungssituation ein Wettbewerb abspielt, der wie in diesen Beispielen kompetitiv, der aber genauso gut komplementär oder kooperativ sein kann.

An drei Beispielen aus ganz unterschiedlichen Bereichen der Wahrnehmung soll die These demonstriert werden, daß nicht eine hierarchische Abarbeitung von Prozessen (aufwärts oder abwärts) zur stabilen Wahrnehmungswelt führt, sondern eine ständige Interaktion (kooperativ oder kompetitiv) von Prozessen bzw. Mechanismen ganz unterschiedlicher Komplexität:

1. Am Beispiel des Phänomens der räumlichen Multistabilität kann gezeigt werden, daß die stärksten Effekte nicht durch eine gleichzeitige Maximierung oder Minimierung der Ausprägungen basaler Eigenschaften wie z.B. Symmetrie, Komplexität oder Geschlossenheit erreicht werden, sondern dann, wenn diese Ausprägungen von mittlerer Stärke sind, so daß keine Eigenschaft die anderen dominieren kann.
2. Für die Raumwahrnehmung wird gezeigt, daß nur dann, wenn die Wahrnehmung des Objekts, "so wie es ist", d.h. invariant, und die Wahrnehmung des Objekts aus einer spezifischen Perspektive in etwa gleichermaßen stark durch ein zweidimensionales Bild unterstützt werden, ein räumlicher Eindruck entsteht, der die Position des Beobachters in Relation zu den dargestellten Gegenständen eindeutig definiert.
3. Aus der Wissenschaftsgeschichte wird an drei Fallstudien die Bedeutung, aber auch die Problematik des Gestaltfaktors "Symmetrie" dargestellt.

II Die Interaktion von Wahrnehmungsprozessen am Beispiel des Neckerwürfels

In Abbildung 6 werden sechs verschiedene Strichzeichnungen von Drahtkuben gezeigt, die sich darin unterscheiden, wie stark sie einerseits anschauliche Räumlichkeit und andererseits Multistabilität induzieren: In beiden Hinsichten erzeugt 6b den stärksten Effekt, denn es besitzt zwei gleichermaßen starke semistabile Ansichten, die alternierenden räumlichen Organisationen entsprechen.

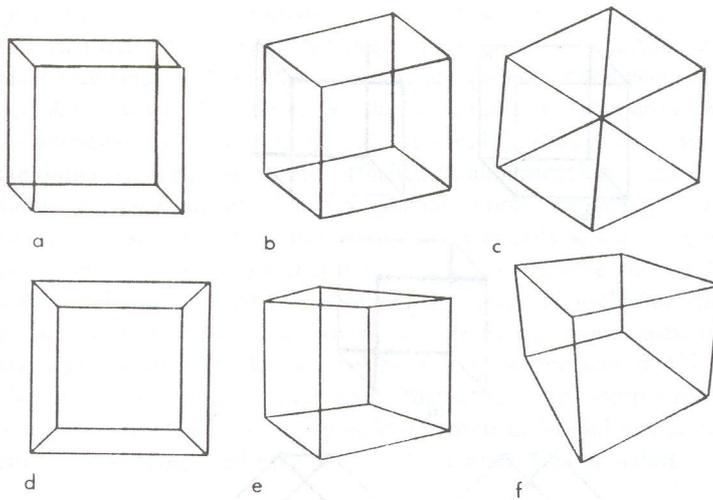


Abbildung 6: Sechs Darstellungen des Neckerwürfels

Der nur geringfügig schwächere Effekt in Abbildung 6a entsteht dadurch, daß es hier einen dritten sehr transienten Zustand gibt, in dem ein zweidimensionales Muster mit einer 45°-Achse der Symmetrie auftritt; die Wahrnehmung dieses transienten Zustandes kann dadurch verstärkt werden, daß die Figur um 45° rotiert wird, so daß die Achse der bilateralen Symmetrie senkrecht ist (Zimmer, 1986).

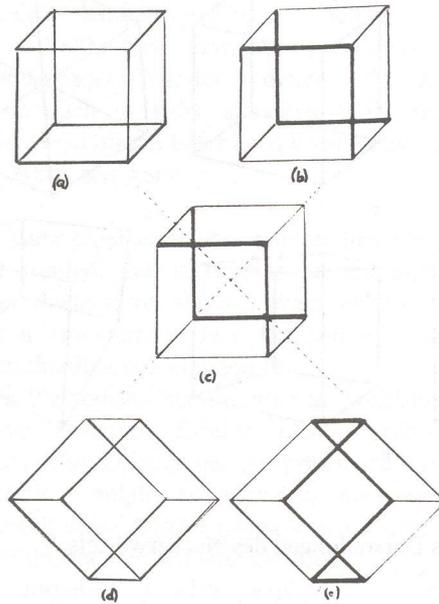


Abbildung 7: Die Stabilität der Wahrnehmung des Neckerwürfels 6a unter Rotation und Betonung der symmetrischen Anteile (nach Zimmer, 1986).

Vom empiristischen Standpunkt her müßten die Abbildungen 6d-f die stärksten Effekte hinsichtlich anscheinender Tiefe bewirken, da sie realen perspektivischen Projektionen mit 1, 2 oder 3 Fluchtpunkten darstellen. Im Gegensatz dazu ist Abbildung 6a von der Perspektive her unmöglich, und Abbildungen 6b und c stellen Parallelprojektionen ohne Fluchtpunkt dar, d.h. sie sind in einer realen Situation nicht darstellbar. Auf der anderen Seite sollten die Abbildungen 6d-f keine Multistabilität induzieren, da ihre räumliche Position durch die Perspektive eindeutig gegeben ist. Es zeigt sich zwar, daß der von diesen Abbildungen ausgelöste Effekt der Multistabilität schwächer ist als der durch die Abbildungen 6a und b hervorgerufene, aber eine Bistabilität existiert dennoch, wenn auch mit einer Tendenz hin zur Wahrnehmung eines perspektivisch gezeichneten Kubus im Gegensatz zu einer unregelmäßigen Würfelform. Diese Bistabilität scheint dem

gestalttheoretischen Minimum-Prinzip (Köhler, 1920) zu widersprechen, nachdem Deformationen von prägnanten Formen zur nicht-defomierten Form tendieren und nicht vice versa. Allerdings zeigt keine der geschlossenen geometrischen Formen in den Abbildungen 6e oder f den hohen Grad der Symmetrie, wie er für stabile zweidimensionale Formen typisch ist (Wulff, 1922); zwar ist der Kubus eine dreidimensionale Form mit mehrfachen Symmetrieachsen und aus diesem Grunde sollte er eine außerordentlich stabile Form darstellen, aber keine dieser charakteristischen Symmetrien bleibt in perspektivischen Zeichnungen erhalten: Die Linien sind weder parallel noch von gleicher Länge und die Winkel sind nicht orthogonal. Auf der anderen Seite werden diese Eigenschaften zumindest teilweise in den Abb. 6a-d erhalten, wo sie allerdings nur dann einen räumlichen Effekt erzeugen, wenn zumindest teilweise die Symmetrien wie in Abb. 6a und b gebrochen sind. Wenn dagegen eine zweidimensionale Projektion eines Kubus maximale Symmetrie zeigt (z.B. sechs Symmetrieachsen in 6c und vier in 6d) dann wird nur ein sehr schwacher und vorübergehender Tiefeneffekt induziert.

Unter den Würfeldarstellungen der Abb. 6 gibt es noch ein weiteres Beispiel von besonderem theoretischen Interesse, nämlich 6d. Entsprechend den o.a. Regeln für die Induktion von Dreidimensionalität (Perkins, 1968) sollte es nicht möglich sein, diese Figur als dreidimensional zu sehen; tatsächlich erscheint sie auch üblicherweise als "Bilderrahmen" mit geringer räumlicher Tiefe, wenn überhaupt. Dies ändert sich jedoch, wenn die Symmetrien gebrochen werden wie in Abb. 8; besonders stark ist dieser Effekt oben links und rechts.

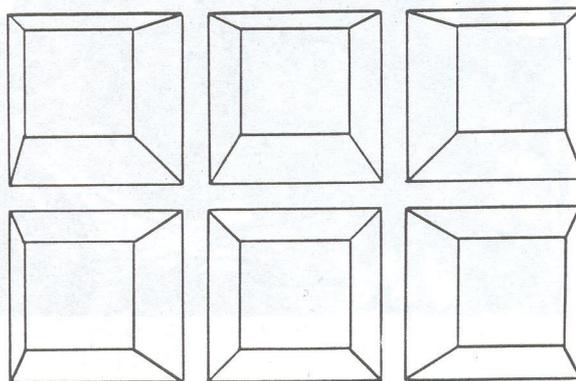


Abbildung 8: Räumliche Darstellungen, die den Perkins-Gesetzen widersprechen

Die Drahtwürfel in Abb. 8 induzieren nicht nur einen Tiefeneffekt, sie zeigen darüber hinaus Multistabilität zwischen einem von innen gesehenen Würfel und einer von außen gesehenen abgeschnittenen Pyramide. Bei Betrachtern gibt es keine klare Präferenz für eine dieser perspektivischen Orientierungen, dies mag daran liegen, daß wegen der Konvexität der Pyramidenstumpf ausgezeichnet ist, dagegen ist die konkave Sicht durch den "idealen Körper" des Kubus ausgezeichnet. Wie sehr Konvexität als "Attraktor" in der Wahrnehmung von Formen wirkt, wird deutlich in Abb. 9, wo ein Blick in die Kuppel von San Giovanni degli Eremiti in Palermo gezeigt wird: Selbst wenn man weiß, daß es sich um die Innenansicht einer Kuppel handelt und die große Kuppel auch dementsprechend wahrnimmt, kippt die Form beim Übergang von den Mauern zur Kuppel im oberen Bildteil ins Konvexe um.

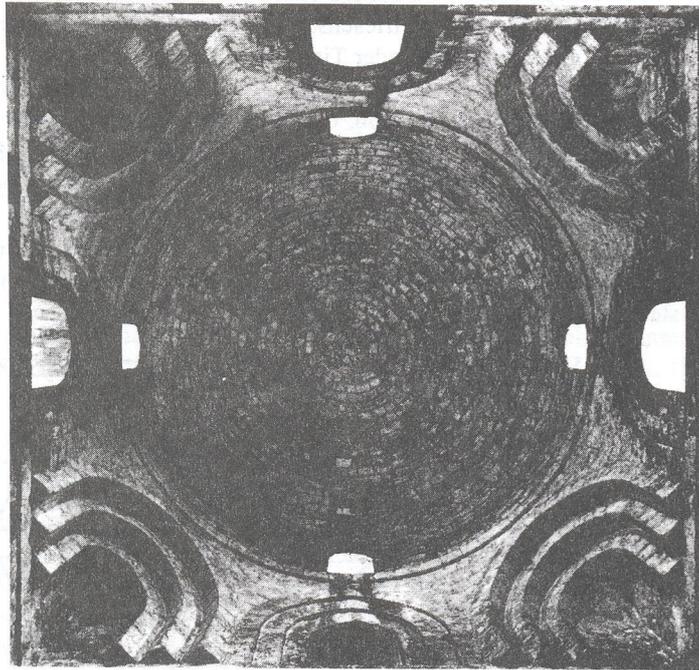


Abbildung 9: Die Kuppel von San Giovanni degli Eremiti in Palermo

Ähnliches zeigt sich bei Eschers Entwürfen zu 'konvex-konkav' (1956).

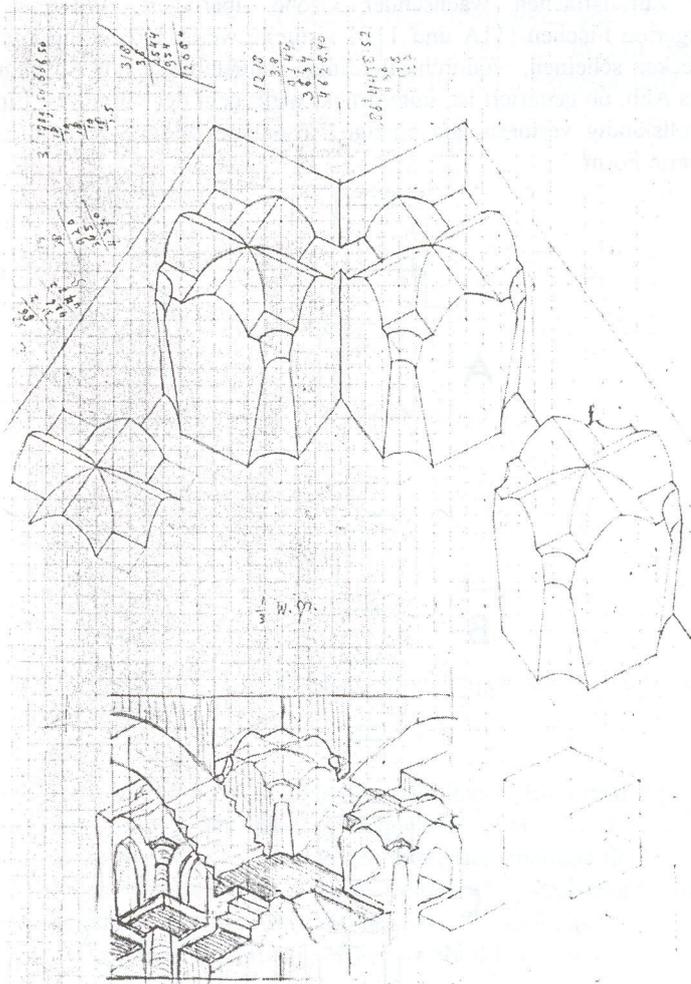


Abbildung 10: Eschers Entwürfe zu "konvex-konkav" (1956).

Die Abbildungen in 11A, B und C zeigen, wie die relative Stärke von anscheinender Räumlichkeit und Bistabilität untersucht worden sind: In einem ersten Experiment wurden an den Stellen der Projektionen der Knoten des Kubus weiße Zufallsflächen wachsender Größe überlagert. Während bei kleinen überlagerten Flächen (11A und 11B) virtuelle weiße Kreise die Knotenpunkte zu überdecken scheinen, wodurch allerdings Multistabilität mit Ausnahme der Form, die aus Abb. 6b generiert ist, unterdrückt wird, geht der räumliche Eindruck in 11C fast vollständig verloren, die einzige Ausnahme bildet wieder die aus Abb. 6b generierte Form.

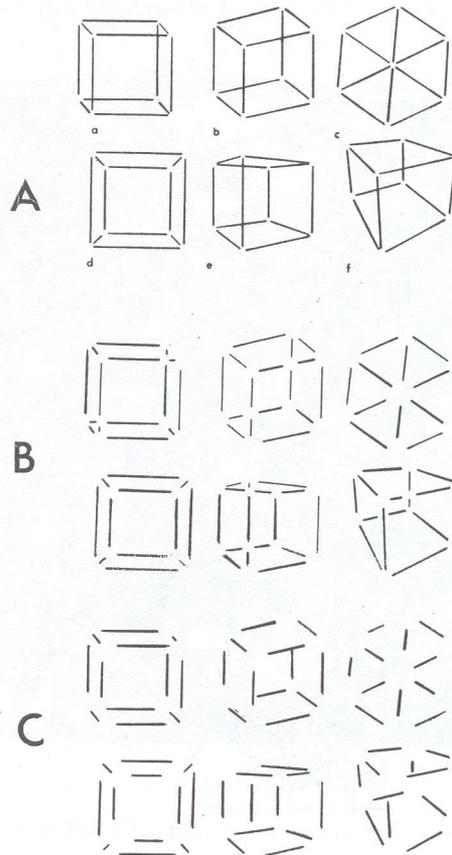


Abbildung 11 A,B,C: Die Neckerwürfel-Darstellungen von Abb. 6 mit zunehmend großen weißen Überlagerungen der Eckpunkte

Abbildung 12 zeigt, daß es einen deutlichen Unterschied zwischen der Überlagerung eines Knotenpunktes des zugrundeliegenden Würfels und eines nur durch die Projektion entstandenen Überlagerungspunktes gibt: Die Verdeckung der Überlagerungspunkte in 12c beeinflussen sehr viel stärker die anscheinende Räumlichkeit und die Multistabilität als die Überlagerung der Knotenpunkte des Kubus in 12b, obwohl dort objektiv viermal so viel Information weggefallen ist. Besonders verblüffend ist die Kombination von 12b und 12c in 12d, wo am meisten Information fortgefallen ist, aber scheinbare Dreidimensionalität und Multistabilität stärker zu finden ist als in 12c.

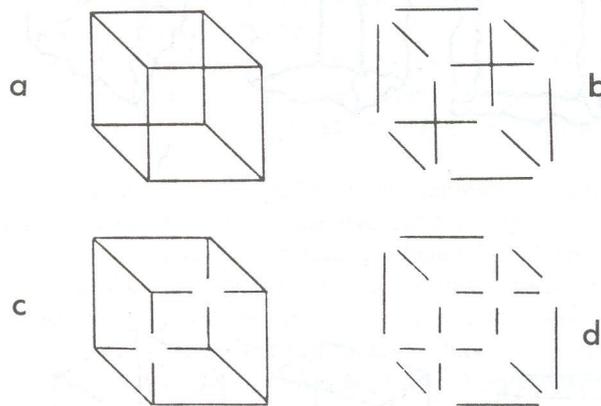


Abbildung 12: Die Wirkung von Überlagerungen an verschiedenen Punkten des Neckerwürfels

In einem zweiten Experiment zur Stabilität des räumlichen Eindrucks bzw. der Multistabilität wurden die Kanten niedrig frequenten (Abb. 13A) und hoch frequenten Deformationen (Abb. 13B) unterzogen unter Beibehaltung der Vertices; dabei stellte sich insgesamt eine starke Stabilität gegenüber diesen Transformationen heraus; d.h. sowohl anscheinende Räumlichkeit wie auch Multistabilität liegen in ähnlichem Umfang vor wie in Abbildung 6 vor.

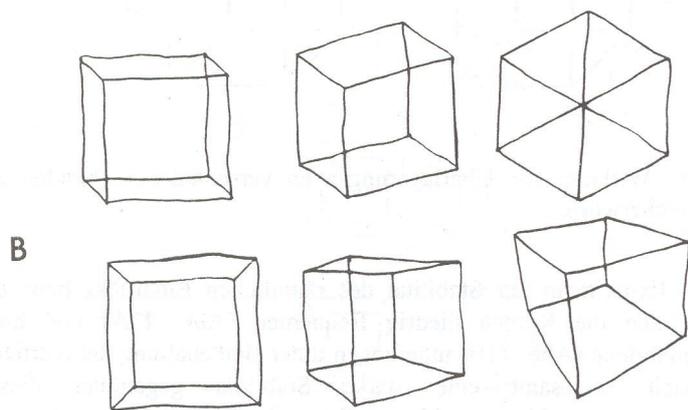
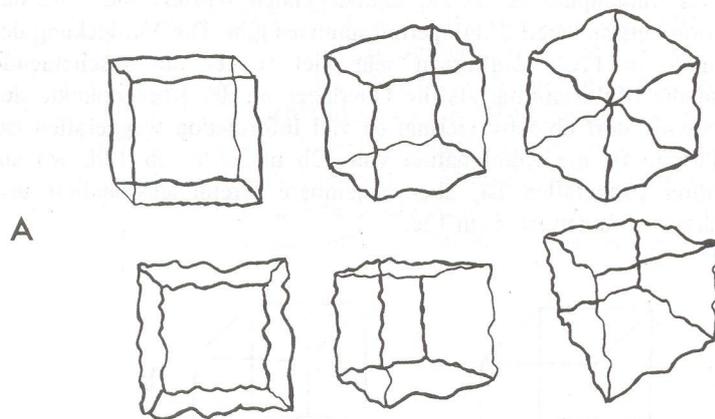


Abbildung 13 A,B: Die hoch- bzw. niedrigfrequente Verzerrung verschiedener Neckerwürfel

Welche Schlüsse lassen sich aus dem bisher über die Bedingungen der Wahrnehmung von Dreidimensionalität und Bistabilität Gesagten ziehen?

1. Wenn die notwendigen Bedingungen für die Wahrnehmung eines Kubus gegeben sind, nämlich 8 Knoten mit jeweils 3 Verzweigungen sowie Konvexität, dann wird Dreidimensionalität nur dann induziert, wenn die Symmetrie der Darstellung gebrochen ist; dies scheint besonders wirksam zu sein, wenn es einer Orientierung des Würfels von 30° in Bezug auf die fronto-parallele Ebene entspricht.
2. Der Effekt der anscheinender Tiefe und das symmetrische Verhalten der Bistabilität sind dann am stärksten, wenn möglichst viele konstituierende Eigenschaften des Kubus in seiner Projektion erhalten sind, also parallele und gleichlange Linien sowie rechte Winkel.
3. Erfahrung in dem Sinne, daß die Versuchsperson einen solchen Drahtkubus schon einmal gesehen hat oder daß die Regeln der projektiven Geometrie bekannt sind, scheinen eine zu vernachlässigende Rolle zu spielen.

Diese Ergebnisse stimmen gut mit der faktorenanalytischen Untersuchung von räumlichen Objekten mit reversibler Perspektive durch Hochberg & Brooks (1960) überein: Die anscheinende Tiefe von Zeichnungen hängt danach von 3 Faktoren ab, nämlich erstens Einfachheit vs. Komplexität (Anzahl der Winkel), zweitens glatter Verlauf vs. Segmentierung (gemessen durch die Anzahl von Liniensegmenten) und drittens Symmetrie vs. Asymmetrie (gemessen durch die relative Anzahl unterschiedlicher Winkel). Diese faktorenanalytische Vorgehensweise impliziert jedoch die Additivität dieser Komponenten. Dementsprechend argumentieren Hochberg und Brooks (1960, S. 354): "The greater the complexity, the asymmetry, and the discontinuity of the projection of a given tridimensional object in two-dimensions, the more three-dimensional it will appear. We may, in reality, be dealing with only one dimension - 'figural goodness'" (Hochberg & Brooks 1960, p. 354). Dies stimmt jedoch nicht mit den o.a. Analysen überein, wonach die Strichzeichnungen in Abb. 6a und b einen sehr viel stärkeren Effekt haben als die in 6e und f, obwohl diese alle stärkere Ausprägungen auf den o.g. Faktoren haben. Hieraus wird deutlich, daß die Interaktion zwischen den von Hochberg & Brooks identifizierten Komponenten nicht additiv ist, sondern eher einem kompetitiven Prozeß entspricht, wo der insgesamt stärkste Effekt erreicht wird, wenn die Komponenten einen eher mittleren Ausprägungsgrad haben.

Den Wettbewerb verschiedener Wahrnehmungsmechanismen illustrieren besonders gut die Experimente von Klopfer & Cooper (1985): Wenn das Gebilde in Abb. 14a als Innenansicht eines Raumes gesehen wird, dann scheinen die drei Punkte links

dem darunterstehenden Dreieck zu entsprechen. Kippt dagegen die Wahrnehmung in die eines Pyramidenstumpfes, dann werden die drei Punkte als Eckpunkte eines gleichseitigen Dreiecks gesehen, wie in 14b; doch scheint dort das gleichseitige Dreieck entweder über der Pyramide zu schweben oder aus der linken Mauer des Raumes in die fronto-parallele Ebene herausgeklappt zu sein.

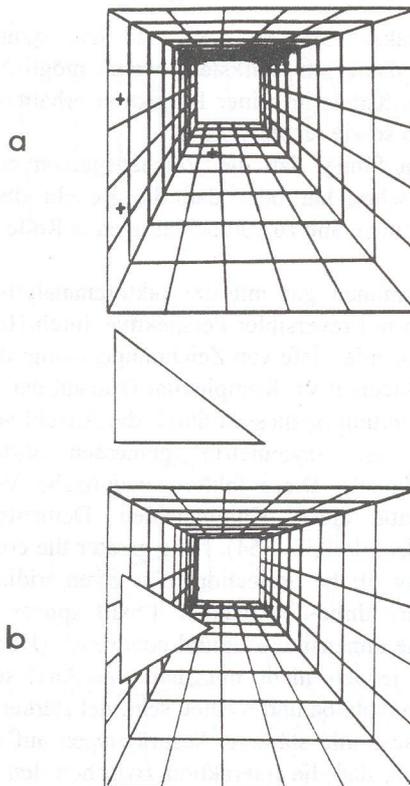


Abbildung 14: a) Das Reizmaterial von Klopfer und Cooper (1985)
 b) Eine Variante dieser Reizvorlage

Ähnlich wie in den optischen Täuschungen, die auf der Interaktion von Strahlenbüscheln und regelmäßigen Formen basieren wie z.B. die Wundtsche Täuschung, geschieht hier eine Verzerrung, die der Prägnanztendenz entgegengesetzt ist, doch im Gegensatz zu diesen Täuschungen ist diese davon abhängig, welche der reversiblen Perspektiven und damit unterschiedlichen räumlichen Konstruktionen vorliegt.

Im folgenden Teil soll gezeigt werden, wie in der Entwicklung der Raumdarstellung in der abendländischen Malerei genau die bisher identifizierten Prinzipien der Induktion von anscheinender Räumlichkeit wirksam gewesen sind. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Malerei der Renaissance, da hier als Ergebnis der künstlerischen Bemühungen um räumliche Darstellung die Theorie der projektiven Geometrie entwickelt worden ist.

III. Wann erzeugt ein 2D-Bild den überzeugendsten 3D-Effekt?

Die Bifurkation zwischen dem Objekt, wie es ist, und dem Objekt, wie wir es zu einem konkreten Moment von einem spezifischen Ort sehen, oder - wie Gibson (1971) es ausdrückte - zwischen 'change' and 'no change', ermöglicht erst die Spezifikation der Position des Betrachters in Relation zum Objekt - aber nur wenn das Objekt und seine Umgebung (die Szene) bekannt sind und/oder nicht gegen grundlegenden und zeitunabhängigen Objekteigenschaften verstoßen: 3-Dimensionalität, partielle Konvexität, Rigidität, Regularität (i.S. einer 'Tendenz zur guten Gestalt') und Geschlossenheit der Oberfläche. Wenn diese gegeben sind, ist eine Raumorientierung auch in Relation zu unbekanntem Objekten möglich. Der Preis, den diese 'Vorannahmen' oder Hypothesen i.S. Gregory's (1980) kosten, liegt in der Täuschbarkeit des räumlichen Eindrucks, wie er sich im Ames-Raum zeigt.

Panofsky (1980) weist in der Kunstgeschichte der Renaissance nach, daß erst die sozialen und philosophischen Neuorientierungen, die parallel zu oder in Abhängigkeit von der Emanzipation der italienischen Stadtstaaten stattfanden, eine bildliche Darstellung ermöglichten, in der nicht die Dinge dargestellt werden, wie sie dem Wissen oder - scholastisch gesehen - ihrem Wesen entsprechen, sondern wie sie ein ganz konkreter Beobachter von einem spezifischen Punkt aus sieht: der 'intuitus'. In der gleichen Arbeit weist er auch darauf hin, daß es zwischen "perspektivischer Konstruktion" und 'subjektivem Sehbild' einen 'unwiderleglichen Widerspruch' gibt (Panofsky, 1980, S. 102). Ziel des folgenden Teils wird es sein

zu zeigen, daß dieser 'Widerspruch' eben genau der multiplen parallelen Verarbeitung visueller Information entspricht und wie Künstler in ihrem Abweichen von perspektivischer Treue gerade diese Wahrnehmungsprozesse kennzeichnen.

In seinem klassischen Text "de pictura" (1435) schreibt Alberti über die Bedeutung der von ihm entwickelten Perspektivlehre: "Diese Anleitungen sind derart, daß für jeden ihr Nutzen deutlich wird, der sie intellektuell versteht und die [zu Grunde liegende] Auffassung von bildnerischer Darstellung. Es sollte niemals angenommen werden, daß jemand ein guter Künstler sein kann, der nicht ganz klar versteht, was er unternimmt" (meine Übersetzung). Hier wird sehr deutlich ein Standard für die Bewertung von Kunst gesetzt, nach dem nämlich die Beherrschung der perspektivischen Darstellung eine notwendige Voraussetzung für die Schaffung eines wirklichen Kunstwerkes ist. Alberti beschränkt sich jedoch nicht nur auf die theoretische Darstellung der perspektivischen Geometrie, sondern er gibt ganz konkrete Hinweise, wie man zu einem perspektivisch korrektem Bild kommen kann: "Auf die Oberfläche, die ich bemalen will, zeichne ich zunächst ein Rechteck beliebiger Größe, dieses betrachte ich als offenes Fenster, durch das der Gegenstand meiner Malerei gesehen wird" (meine Übersetzung). Dies ist die Definition des "Alberti-Fensters", das teilweise in der Literatur auch als "Da Vinci-Fenster" bezeichnet wird. Antonio di Piero Averlino in seinem Traktat über die Architektur konkretisiert die technischen Anweisungen Albertis und entwickelt die Zentralperspektive als die dem Auge gemäße Darstellung; dies erklärt zumindest teilweise die große Bedeutung der Zentralperspektive für Raphael (siehe unten). Leonardo Da Vinci stellt physiologische Spekulationen an, warum die Zentralperspektive die dem Auge gemäße Darstellung ist: "... so werden die Objekte direkt gegenüber dem Auge stärker dem Sinn übertragen, wenn sie sich auf einer Linie mit dem betreffenden Nerven befinden". Darüberhinaus stellt er dar (Manuskript A, 1492), wie Albertis Regeln konkret anzuwenden sind, die sogenannte "Costruzione legittima". Ergänzt werden diese theoretischen Überlegungen und konkreten Anweisungen durch die Entwicklung von technischen Geräten, die perspektivisches Zeichnen ermöglichen. Am Anfang steht dabei Brunelleschi (1377 bis 1446), der ein Spiegelsystem mit Guckloch entwickelt, etwa 100 Jahre später war die Camera obscura allgemein bekannt (Abb. 15), und endlich legte Dürer mit seiner "Underweysung der Messung, (1525, besonders wichtig die dritte Auflage 1538) das Werk vor, das nicht nur den bisherigen theoretischen und praktischen Diskussionsstand zusammenfaßte, sondern gleichzeitig mit dem "Dürerschen Fenster" das technische Hilfsmittel für die Malerei entwickelte, das bis zum Beginn der Moderne Standardhilfsmittel war. Anzumerken bleibt noch, daß

der experimentelle Nachweis der gradlinigen Fortpflanzung von Lichtstrahlen und ihre Überkreuzung in der Camera obscura erst 1619 von Schreiner mit dem Apparat in Abb. 16 nachgewiesen wurde.

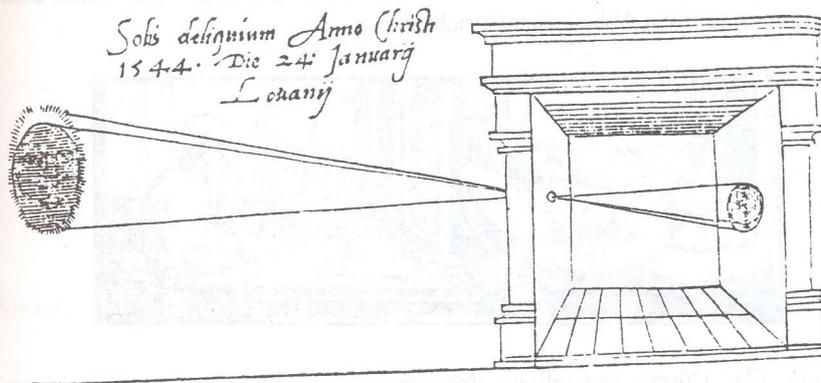


Abbildung 15: Die erste Darstellung einer Camera obscura

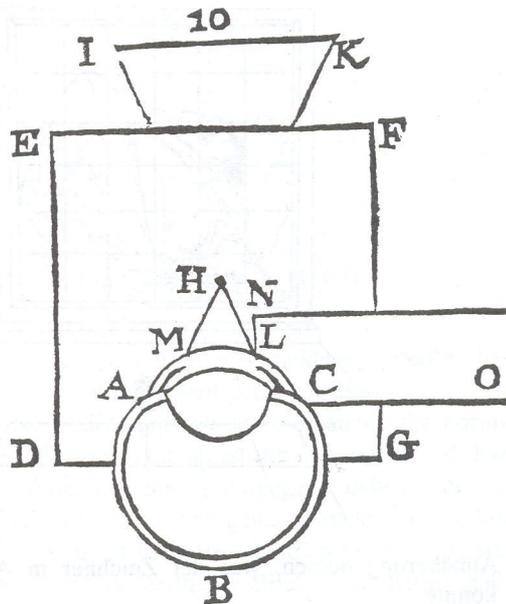


Abbildung 16: Schreiners Apparat zur Bestimmung der Linearität der Sehstrahlen

In der dritten Auflage der "Underweysung" von 1538 findet sich die Darstellung eines Künstlers, der das Dürer'sche Fenster benutzt, um eine liegende Frau zu skizzieren (Abb. 17a). Wenn man aus dieser Zeichnung rekonstruiert, wie die Projektion der Liegenden für den Künstler tatsächlich aussieht, dann erhält man eine Skizze, die in etwa Abb. 17b entspricht.

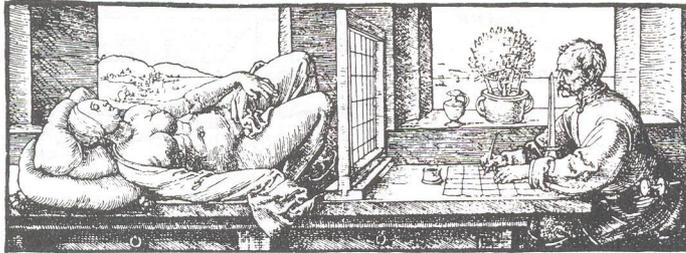


Abbildung 17a: Dürers Darstellung des von ihm entwickelten Apparates zum perspektivischen Zeichnen (1538)

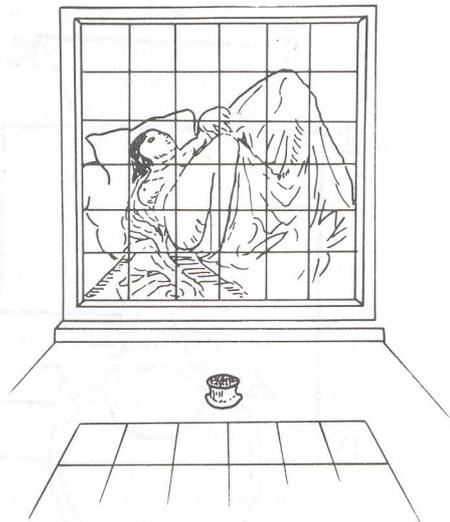


Abbildung 17b: Annäherung dessen, was der Zeichner in Abbildung 17a sehen konnte

Tatsächlich findet sich bei Dürer aber nirgendwo eine vergleichbare Darstellung einer liegenden Frau. Am ehesten entspricht ihr noch die liegende nackte Frau von 1509 (Abb. 17c bzw. die Frau aus der Satyrfamilie von 1505 (Abb. 17d).

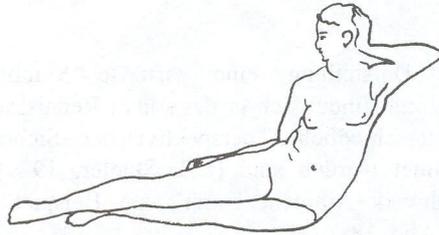


Abbildung 17c: Liegende nackte Frau von Dürer (1501)



Abbildung 17d: Ausschnitt aus der Satyr Familie (1505)

Die Lösung des Problems der Trennung der Objekteigenschaften bzw. Invarianten des dargestellten Körpers von ihren jeweiligen perspektivischen Verzerrungen löst Dürer in 17c dadurch, daß er die Liegende in eine kanonische Form rotiert, so daß die Verkürzungen nicht auftreten. Anders ist die Lösung in 17d, hier wirkt er den perspektivischen Verzerrungen dadurch entgegen, daß er die entsprechenden Körperteile ihren natürlichen Proportionen gemäß streckt bzw. verkürzt. Es handelt sich also in diesem Falle gar nicht um eine "echte" projektive Darstellung, sondern um eine Zusammensetzung unterschiedlicher Blickwinkel derart, daß insgesamt ein Eindruck entsteht, der auf der einen Seite den invarianten Proportionen des

menschlichen Körpers Rechnung trägt, aber auf der anderen Seite dennoch den Eindruck eines ganz spezifischen Blickwinkels liefert; hier werden also die beiden gegenläufigen Positionen der Kunst vereinigt, wonach einerseits Kunst die Darstellung dessen ist, was man sieht, und andererseits die Kunst dessen, was man weiß (Penrose, 1973).

Während in dieser Darstellung eine virtuose Synthese dieser beiden Grundkonzeptionen gelingt, findet sich in der früher Renaissancekunst häufig eine Zusammensetzung unterschiedlicher perspektivischer Sichten, die häufig als "primitiv" gekennzeichnet worden sind (z.B. Stadler, 1929). Stadler analysiert diesen Punkt im Frühwerk Albrecht Dürer's am Beispiel des Aquarells vom "Burgberg von Arco" (Abb. 18a).

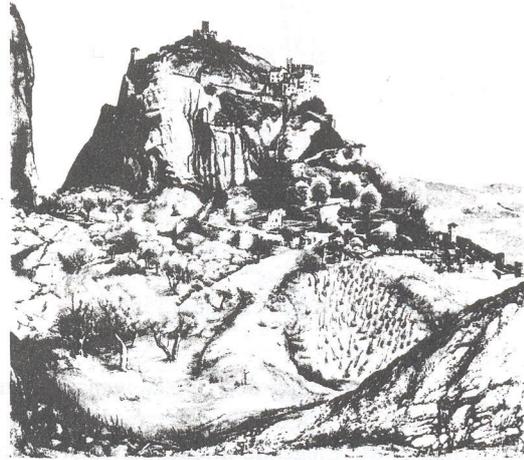


Abbildung 18: a) Das Aquarell Dürers von der Bergburg von Arco

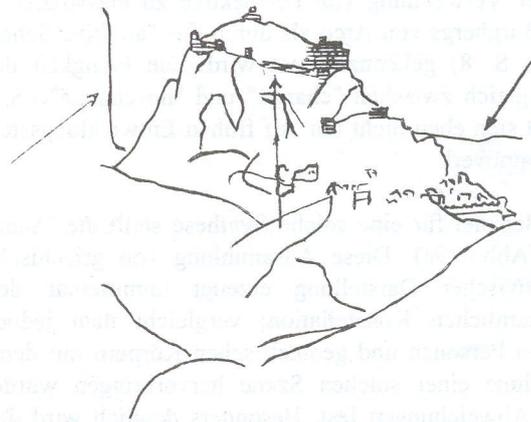
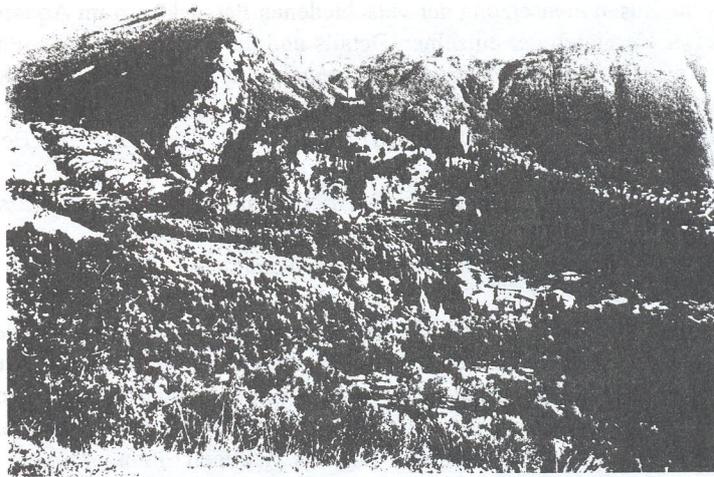


Abbildung 18: b) Ein Photo des Burgberges von Arco
 c) Eine Darstellung der gemischten Perspektiven im Aquarell

In Abbildung 18b wird die photographische Sicht dieses Berges gegeben und daraufhin in 18c analysiert, von welchen Blickpunkten aus Teile dieses Bildes aufgenommen und integriert worden sind. Einzig die schraffierten Gebäude auf dem Burgberg entsprechen der Sicht, wie sie im Photo gegeben ist und wie sie

durch die Zusammensetzung der verschiedenen Perspektiven im Aquarell impliziert wird. Der Vergleich der einzelnen Details und der Proportionen des Photos mit der des Aquarells zeigt deutliche systematische Unterschiede zusätzlich zur Zusammenfügung der verschiedenen Perspektiven:

1. Die Größe der Objekte wird überbetont, die für den Betrachter als Orientierungspunkte dienen,
2. sowohl die Position wie auch die Orientierung der Objekte wird so verändert, daß ein maximaler räumlicher Effekt entsteht und
3. die Relation Höhe zu Breite wird massiv verändert.

Später hat vor allem Piranesi diese systematischen Verzerrungen in seinen Veduti eingesetzt, um den räumlichen Effekt zu erzeugen, der dem subjektiven Sehbild i.S. Panofsky's (1980) am besten entspricht. In Experimenten (Zimmer, im Druck) ist gezeigt worden, daß diese verzerrten Bilder tatsächlich als bessere Abbildungen der Realität angesehen werden als die "objektiv richtigen" Photographien der gleichen Szene. Es handelt sich also nicht, wie Stadler (1929, S. 8) schreibt, um eine "primitive Konstruktionsstufe", und es ist auch nicht möglich, das Werk Dürer's hinsichtlich der Verwendung von Perspektive zu klassifizieren, in dem z.B. das Aquarell des Burgbergs von Arco als durch das "additive Sehen der Frühgruppen" (Stadler, 1929, S. 8) gekennzeichnet wird. Die Fähigkeit des Künstlers, einen optimalen Ausgleich zwischen "change" und "no change" i.S. Gibsons (1971) zu erzielen, findet sich eben nicht nur auf frühen Entwicklungsstufen, sondern immer wieder im Gesamtwerk.

Ein weiteres Beispiel für eine solche Synthese stellt die "Schule von Athen" von Raphael dar (Abb. 19a). Diese Ansammlung von griechischen Philosophen in zentralperspektivischer Darstellung erzeugt unmittelbar den Eindruck einer natürlichen räumlichen Konstellation; vergleicht man jedoch die vorliegende Darstellung von Personen und geometrischen Körpern mit dem, was eine Camera obscura-Aufnahme einer solchen Szene hervorbringen würde, dann stellt man systematische Abweichungen fest. Besonders deutlich wird dies bei den Kugeln, die Euklid und eine ihn begleitende Person rechts im Bild tragen. Schon LaGournerie (1859, S. 170) hat darauf hingewiesen, daß die Kugeln eigentlich Elliptoide sein müßten, wie in Abb. 19b dargestellt. Warum dies so sein muß, zeigt die Konstruktion in Abb. 19c. Allerdings stellte schon LaGournerie fest, daß seine perspektivisch korrigierte Version der "Schule von Athen" den Betrachtern nicht nur als ungewohnt, sondern als direkt falsch erschien.

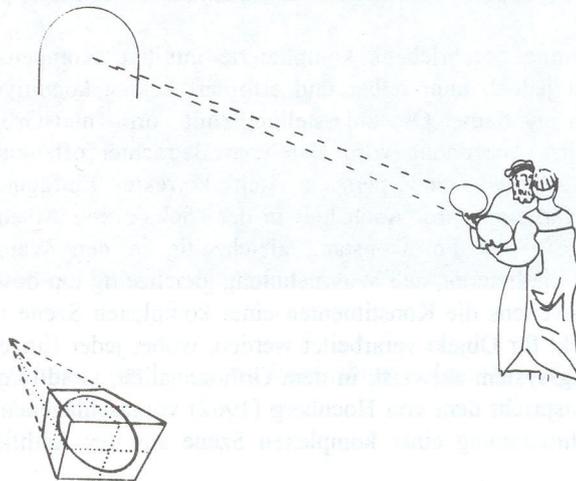
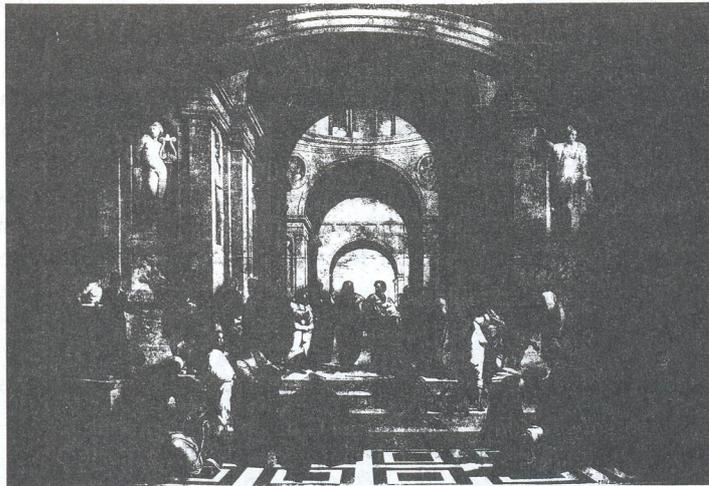


Abbildung 19: a) Raphaels Schule von Athen
 b) Die korrekte Darstellung von Euklid mit seinem Begleiter
 c) Das Konstruktionsprinzip für die perspektivische Verzerrung der Kugel zu einem Ellipsoid

Dabei ist festzuhalten, daß nicht nur die Kugeln, sondern alle Personen einzeln so dargestellt sind, als befänden sie sich jeweils im Zentrum der fronto-parallelen Ebene, also in einer kreisförmigen Aufstellung. Pirenne (1970, S. 122-123) kommentiert dieses Ergebnis, das einer empiristischen Wahrnehmungsauffassung konträr entgegengesetzt ist, folgendermaßen:

"Thus it appears that the spectator looking at Raphael's picture of the spheres must make a complicated intuitive compensation. On account of natural perspective, the circles appear foreshortened to him. They do not form in his eyes the retinal images which would be formed by actual spheres. But, on the basis of his knowledge of the shape and position of the surface of the painting, he recognizes them as circles drawn on a flat surface. Since real spheres always look circular, he concludes that these circles represent spheres. It will be noted that all this, which must somehow occur unconsciously, can be done as well when the spectator uses both eyes, and is in the wrong position. To most spectators, the *School of Athens*, in which the perspective is in parts inaccurate, appears as an outstanding example of the use of perspective."

Die von Pirenne beschriebene komplizierte intuitive Kompensation durch den Betrachter ist jedoch unmittelbar und erfordert keinen kognitiven Aufwand; die Synthese von invarianter Objektdarstellung (mit Form- und Größenkonstanz) mit perspektivischer Anordnung wird also vom Betrachter offenkundig automatisch verarbeitet, während eine perspektivisch korrekte Einfügung von Ellipsen analytisch verarbeitet wird. Auch hier in der "Schule von Athen" zeigt sich, daß räumliche Tiefe und Formkonstanz gleichzeitig in den Wahrnehmungsprozeß eingehen und implizieren, daß Wahrnehmung gleichzeitig top-down und bottom-up ist und daß zweitens die Konstituenten einer komplexen Szene nicht gleichzeitig, sondern Objekt für Objekt verarbeitet werden, wobei jeder Einzelblick ein in sich stabiles Bezugssystem aufweist, in dem Orthogonalität, Gradlinigkeit etc. gegeben sind. Dies entspricht dem von Hochberg (1962) vorgeschlagenen Modell, wonach sich die Wahrnehmung einer komplexen Szene aus der Addition vieler solcher Blicke ergibt.

Vergleicht man die perspektivischen Darstellungen aus der Hochrenaissance mit denen des Barock, dann fällt ein entscheidender Unterschied auf: Während in der Renaissancemalerei eine starke Tendenz zur symmetrischen Darstellung zu finden ist, die z.B. impliziert, daß der Mittelpunkt des Bildes auch gleichzeitig der

Fluchtpunkt sein sollte, zeichnen sich barocke und nachbarocke räumliche Darstellungen durch die Brechung von Symmetrien aus. Besonders deutlich wird dies im Vergleich zwischen einer korrekten Darstellung des Inneren des Regensburger Doms (Abb. 20a) mit der romantischen Darstellung einer Kirchenruine durch Blechen (Abb. 20b). Neben die Brechung der Symmetrie, deren Wirksamkeit ja schon in den verschiedenen Darstellungen des Neckerwürfels (Abb. 6) deutlich wurde, treten noch die Überschneidungen, deren Rolle für den Aufbau räumlicher Wahrnehmung in Abb. 12 gezeigt wurde.



Abbildung 20a: Das Innere des Doms von Regensburg in einer Spät-Renaissance Darstellung

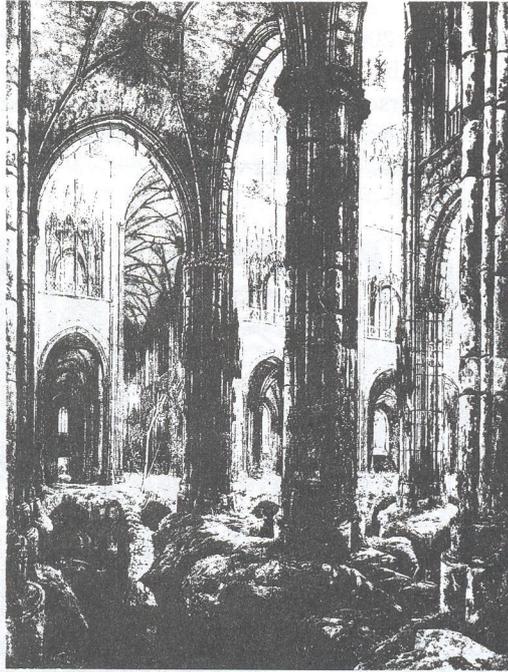


Abbildung 20b: "Kirchenruine" von Blechen

In den Techniken und vor allen Dingen den subjektiven Wirkungen der räumlichen Darstellung in der Kunst zeigt sich m.E. der Charakter der Wahrnehmung nicht als hierarchische Abfolge von niedrigen und höheren Stufen der Wahrnehmung, sondern als parallele und verteilte Informationsverarbeitung. Trägt die bildliche Gestaltung diesem Charakter der Wahrnehmung am besten Rechnung, dann kommt es zu einer Übereinstimmung des Bildes mit dem subjektiven Seheindruck, was bei Photographien nur außerordentlich selten zu erreichen ist. Levit (1976, S. X) beschreibt denn auch so die Technik Piranesis, dem dies am besten gelingt, als "the perfect marriage of hard fact with an incomparable poetic eloquence".

Wie eingangs und in Abb. 20 gezeigt, spielt Symmetrie und das Brechen von Symmetrie im Wahrnehmungsprozeß eine zentrale Rolle, aber nicht nur bei der Wahrnehmung konkreter Objekte in Isolation, sondern auch bei den durch Wahrnehmung bzw. Anschaulichkeit gesteuerten Entwicklungen der Wissenschaft spielt Symmetrie eine zentrale Rolle, wie in den abschließenden Fallstudien gezeigt werden soll.

IV Drei Fallstudien für die Rolle der Symmetrie in der Geschichte der Wissenschaft

Seit Kant's "Kritik der reinen Vernunft" (1781) und seiner Unterscheidung von *Anschauung* und *Empfindung*, wonach *Anschauung* die unmittelbare Erfassung unabhängig existierende Objekte und Gegebenheiten darstellt ("die reine Anschauung von Raum und Zeit"), sind die Wahrnehmungsprozesse in der Wissenschaft zu einem zentralen erkenntnistheoretischen Thema geworden und zwar nicht wie früher, wo Wahrnehmung als die Funktion verstanden wurde, die Daten liefert (*Empfindungen* im Sinne Kant's), sondern Wahrnehmung als der Prozeß, der die konzeptuelle Struktur von Wissenschaft bestimmt.

1. Die Bestimmung der Form des Saturn durch Huygens 1659

Die erste mir bekannte Untersuchung über die Beziehung zwischen Wahrnehmung und der konzeptuellen Struktur von Wissenschaft ist das Buch von Huygen's "Systema saturnium" (1659, hier zitiert nach der Gesamtausgabe, Vol. XV). In einer Übersicht (Abb. 21) gibt er insgesamt 13 Ansichten des Saturn wieder, wie sie von Astronomen seit Beginn des 17. Jahrhunderts berichtet worden sind. Was bei diesen Darstellungen sofort auffällt, ist die perfekte bilaterale Symmetrie und zwar sowohl vertikal wie auch horizontal.

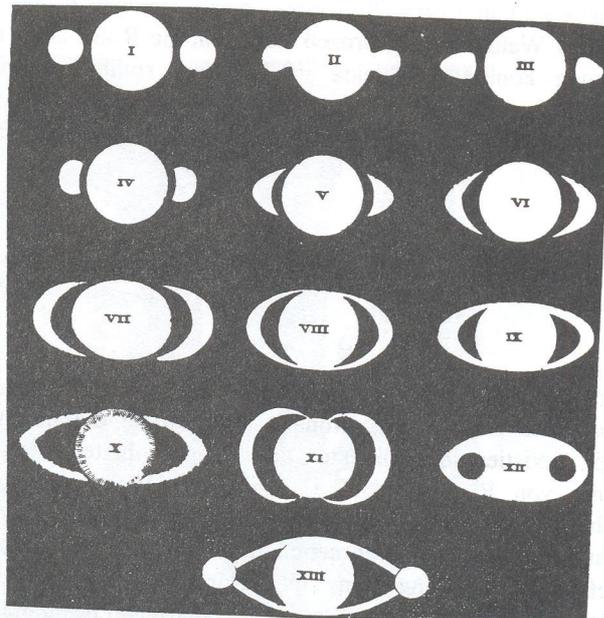


Abbildung 21: Saturn-Darstellungen in Huygens (1659) "Systema Saturnium"

Wie nahe diese Abbildungen dem kommen, was vor den Satellitenaufnahmen möglich war, zeigt ein Foto vom 24.11.1943 mit einem 100-Zoll-Teleskop (Abb. 22)

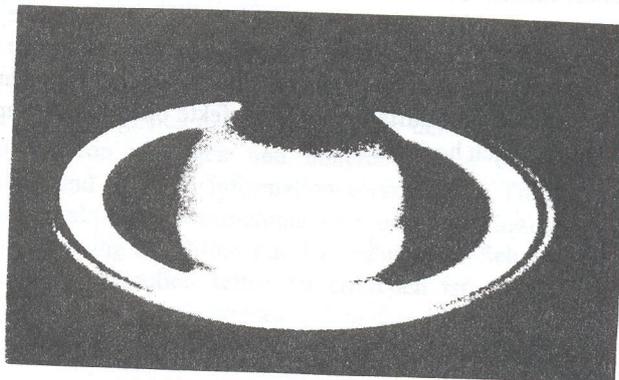


Abbildung 22: Teleskopaufnahme des Saturn vom 24.11.1943

Die starke Betonung der Symmetrie führte zu zwei alternativen Deutungen dieser verschiedenen Ansichten ein und desselben Planeten: Zum einen wurde der Planet selbst als veränderlich in seiner Form wahrgenommen (siehe z.B. Bild XII in der Abbildung aus Huygens; diese Abbildung stammt von Gassendi, 1646) oder aus den verschiedenen Ansichten wurde ein perfekt kugelförmiger *eigentlicher* Planet rekonstruiert, der von einer ständig seine Form ändernden Umhüllung begleitet war. Dies wird besonders deutlich in Bild X aus der Abbildung von Huygens, die von Divini (1646 bis 1648) stammt. Huygens kommentiert speziell die Bilder VIII und IX von Riccioli (1648 bis 1650) folgendermaßen: "Wenn jemand eine Hypothese ausgearbeitet hat, die ihn zu so einer Konsequenz führt, täuscht er sich leicht selbst und glaubt an die Realität dessen, was er zu sehen hofft". Huygens selbst kommt zu einer Darstellung des Saturns, von der wir heute wissen, daß sie korrekt ist (Abb. 13a und b), dadurch, daß er eine invariante Form (kugelförmiger Planet mit parallelen Ringen) mit einer Bahnbewegung kombinierte, die zu den jeweils spezifischen und unterschiedlichen Ansichten führt (Abb. 24):

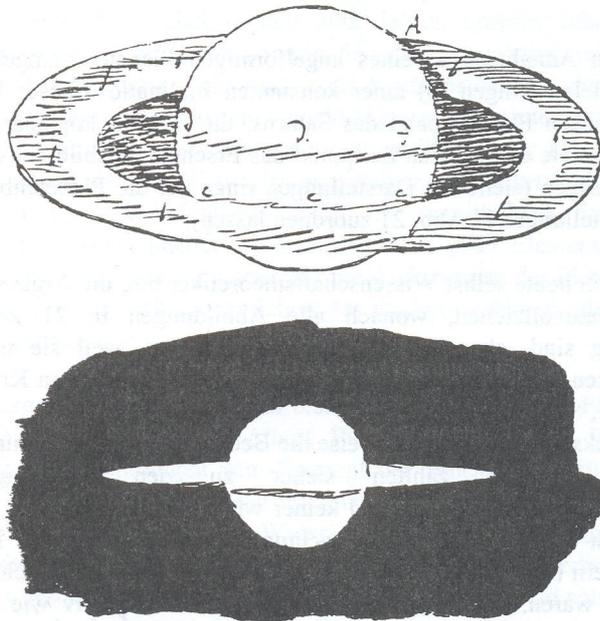


Abbildung 23: Saturnabbildungen bei Huygens

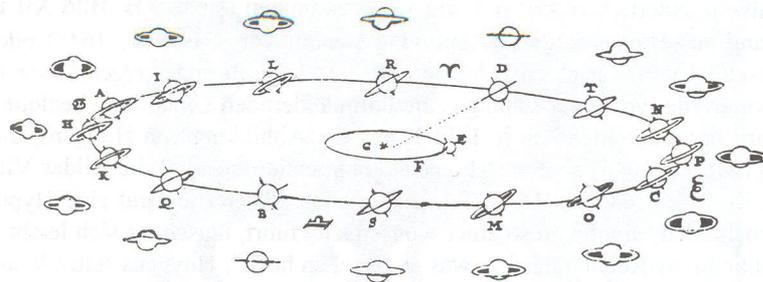


Abbildung 24: Das Saturnsystem nach Huygens (1659)

Ausgehend von den Annahmen a) eines kugelförmigen Planeten, umgeben von kreisförmigen parallelen Ringen, b) einer konstanten Inklination dieses Planeten und c) einer elliptischen Planetenbahn des Saturns, die in etwa koplanar mit der Bahn der Erde ist, konnte er für jeden Zeitpunkt das Erscheinungsbild des Planeten im Teleskop vorhersagen (siehe die Darstellungen rings um die Planetenbahn, die sich direkt den Darstellungen in Abb. 21 zuordnen lassen).

Wie schwer sich auch heute selbst Wissenschaftstheoretiker tun, die Argumentation von Huygens nachzuvollziehen, wonach alle Abbildungen in 21 zwar qua Abbildungen richtig sind, aber den Sachverhalt verfehlen, weil sie nicht die Invarianzen aufdecken, sondern verschleiern, zeigt der Kommentar von Kriz, Lück & Heidbrink (1990², S. 79):

"Recht eindrucksvoll sind beispielsweise die Beobachtungen des Saturnringes: *Galilei* und *Huygens* zählten sicher zu den hervorragendsten Naturwissenschaftlern ihrer Zeit, und keiner würde wohl bezweifeln, daß sie es an Sorgfalt und geschulter Beobachtungsfähigkeit nicht mit heutigen Wissenschaftlern (z.B. auch Psychologen) aufnehmen könnten. Doch obwohl beide bemüht waren, das Beobachtete so genau und objektiv wie möglich wiederzugeben, und obwohl ihre Instrumente weitaus besser waren als heutige billige Warenhausfernrohre, kann heute jeder Hobbyastronom durch letztere Geräte "den Saturnring" deutlich "sehen", während *Galilei* in seinen

Beobachtungen 1609-19 den Ring nicht als "Ring" "sah" (sondern als dreigeteiltes Objekt) und *Huygens* in seinen frühen Aufzeichnungen Abbildungen des "Gesehenen" wiedergab, von denen viele aus heutiger Sicht als "unmöglich gesehen" beurteilt werden müssen."

Die Analyse Huygens' hat gezeigt, wie unmittelbar gegebene Symmetrien der Wahrnehmung verhindern, daß tieferliegende Invarianzen aufgedeckt werden. Erst die Brechung dieser "oberflächlichen" Symmetrien führt zu einem Modell mit Invarianzeigenschaften, die jedoch nur deswegen aufgedeckt werden können, weil gleichzeitig und gleichgewichtig die Formstabilität des Objekts und die Veränderlichkeit seiner perspektivischen Projektion berücksichtigt werden.

2. Die Entwicklung der Darstellung der Wheatstone-Brücke

Miller (1984) hat darauf hingewiesen, daß in den Diskussionen um die Entwicklung der Quantenphysik speziell in den 20er Jahren unseres Jahrhunderts sich bei Heisenberg eine neue Terminologie in Zusammenhang mit der Frage der Veranschaulichung entwickelt: Anders als Kant, für den *Anschauung* das Ergebnis der unmittelbaren Erfassung eines unabhängig existierenden Objekts war, bezieht Heisenberg *Anschauung* auf die quantitativen Größen der klassischen Physik und damit auf etwas, das mittelbar oder unmittelbar der Wahrnehmung zugänglich ist, davon hebt er *Anschaulichkeit* ab als die unmittelbare Erfassung abstrakter Gegebenheiten; konsequenterweise vergleicht er 1969 Elementarteilchen mit den idealen Körpern in Plato's *Timaeus*, als die Archätypen der Ideen der Materie, und 1976 konstatiert er, daß die Teilchen der modernen Physik als Repräsentationen von Symmetriegruppen zu verstehen sind.

Den Hintergrund für diese auf den ersten Blick verblüffende Fortentwicklung der Wissenschaft von dem, was Albert Einstein "organisches Begreifen" nannte, illustrieren die Abbildungen zum Konzept der Wheatstone-Brücke in den letzten 100 Jahren. Es handelt sich dabei um eine experimentelle Anordnung zur exakten Bestimmung eines unbekanntes Widerstandes, 1843 von Wheatstone entwickelt; darin ist der unbekanntes Widerstand R_x als Teil einer Widerstandsbrücke mit R_1 , R_2 und R_3 geschaltet. Der veränderliche Widerstand R_3 wird solange verändert, bis kein Strom mehr fließt, so daß sich ergibt:

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_1$$

oder

$$R_1 : R_2 \text{ wie } R_3 : R_x$$

Die früheste Darstellung (Abb. 25a) zeigt direkt die Realisierung einer solchen experimentellen Einrichtung ohne jegliche Abstraktion. Die zweite Abbildung (Abb. 25b) abstrahiert nur insofern, als akzidentelle Eigenschaften der Teile der Versuchseinrichtung reduziert werden. Dagegen findet sich in der Abbildung 25c eine Mischung aus symbolischer und topologischer Darstellung des Versuchsaufbaus ohne einen direkten Bezug zu unmittelbar wahrnehmbaren Eigenschaften einer konkreten Versuchsanordnung. Dieses Prinzip wird in Abb. 25d noch weitergeführt, so daß hier unmittelbar aus der Abbildung die o.a. Gleichung entnommen werden kann.

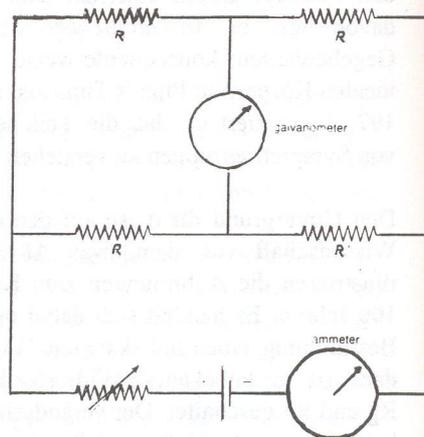
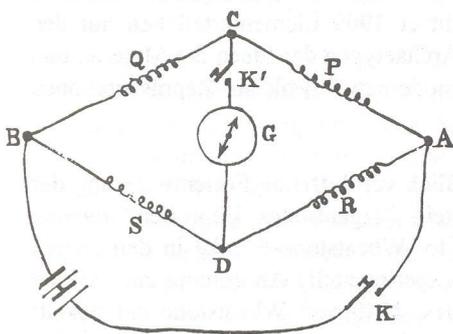
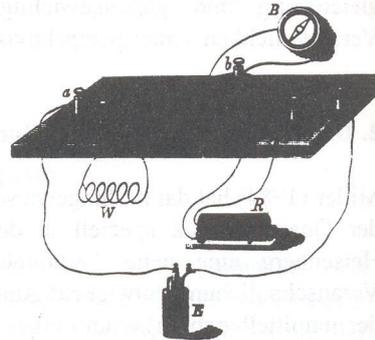
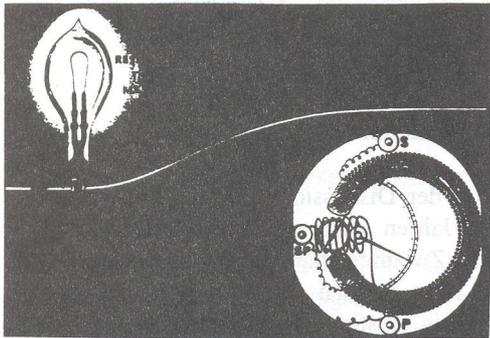


Abbildung 25: Vier Darstellungen der Wheatstone-Brücke

Anzumerken bleibt noch, daß diese Abbildung dem o.g. Prinzip der *Anschaulichkeit* bei Heisenberg näherkommt als die Formel, denn der zugrundeliegende Prozeß entspricht einer inhärenten bilateralen Symmetrie und nicht - wie in der Formel - einer Gleit-Symmetrie.

Selbstverständlich fallen die in der Wheatstone-Brücke gemessenen Widerstände in die Kategorie der Quantitäten der klassischen Physik, die Heisenberg mit *Anschauung* bezeichnet; aber das grundlegende Prinzip der Fortentwicklung von konkreten Meßvorschriften zu abstrakten Symmetriegruppen wird m.E. in dieser Sequenz von Darstellungen besonders gut deutlich.

3. Was motivierte die Theorie der Relativität von Simultaneität (Einstein 1905)? - die gestalttheoretische Rekonstruktion durch Wertheimer (1945) und der tatsächliche Ablauf

In seinem Artikel "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" (1905) hat Einstein die Grundlagen für die allgemeine Relativitätstheorie gelegt, wobei der Grundgedanke darin besteht, daß nur dann die grundlegenden Gesetze der Physik invariant gegenüber Änderungen des Koordinatensystems sein können, d.h. in ihrer Form unverändert bleiben, wenn die Quantitäten in diesen Gesetzen so transformiert werden, wie es die Forminvarianz erfordert. Aus diesem Grunde hat Einstein auch ursprünglich seine Theorie als Invarianztheorie bezeichnet. Die Motivation für diese Lösung geht aus einem nicht veröffentlichten Manuskript von 1919 hervor, das Holton (1973) publiziert hat:

"In the construction of special relativity theory, the following, not-yet-mentioned thought concerning the Faraday [experiment] on electromagnetic induction played for me a leading role.

According to Faraday, during the relative motion of a magnet with respect to a conducting circuit, an electric current is induced in the latter. It is all the same whether the magnet is moved or the conductor; only the relative motion counts, according to the Maxwell-Lorentz theory. However, the theoretical interpretation of the phenomenon in these two cases is quite different. ...

The thought that one is dealing here with two fundamentally different cases was for me unbearable [*war mir unerträglich*]. The difference between these two cases could be not a real difference but rather, in my conviction, only a

difference in the choice of the reference point. Judged from the magnet, there were certainly no electric fields, [whereas] judged from the conducting circuit there certainly was one. The existence of an electric field was therefore a relative one, depending on the state of motion of the coordinate system being used, and a kind of objective reality could be granted only to the *electric and magnetic field together*, quite apart from the state of relative motion of the observer or the coordinate system. The phenomenon of the electromagnetic induction forced me to postulate the (special) relativity principle. [Footnote:] The difficulty that had to be overcome was in the constancy of the velocity of light in vacuum which I had first thought I would have to give up. Only after groping for years did I notice that the difficulty rests on the arbitrariness of the kinematical fundamental concepts [presumably such concepts as simultaneity]".

D.h. Einstein wendete das Prinzip der Forminvarianz auf die Maxwell'schen Gleichungen an und leitete daraus die relativistische Natur der Größen des elektromagnetischen Feldes her. In der Konsequenz bedeutete dies eine Darstellung der Phänomene als Symmetriegruppe. Dieser Ablauf entspricht sehr gut den oben dargestellten Beispielen, wo von einer "unmittelbar gegebenen" Symmetrie über deren Brechung zu Invarianzen gelangt wird, die wiederum auf allerdings abstrakten Symmetrien basieren.

Die Rekonstruktion dieses Prozesses bei Wertheimer (1945/deutsch 1964) sieht ganz anders aus: Er gliedert zunächst einmal "das Denken, das zur Relativitätstheorie führte" in 10 Akten, wobei er, wie aus einem in Miller (1964) abgedruckten Brief hervorgeht, das Ergebnis der ersten drei Akte mit Einstein abstimmt, dort finden sich auch keine Abweichungen von dem tatsächlich historisch belegbaren Prozeß. Dann aber stellt er ab dem vierten Akt das Michelson-Morley-Experiment in den Vordergrund und postuliert, daß die durch dieses Experiment aufgeworfenen Fragen die eigentliche Motivation zur Begründung der Relativitätstheorie darstellten. Er schreibt: "Abgesehen von dem Ergebnis erscheint die gesamte Lage in dem Michelson-Versuch durchaus klar; alle beteiligten Faktoren und ihr Zusammenspiel scheinen klar zu sein. Aber *sind* sie wirklich klar? Verstehe ich wirklich die Struktur der gesamten Situation, vor allem in bezug auf das entscheidende Ergebnis?" und "Während dieser Zeit war er oft niedergeschlagen, manchmal verzweifelt, aber von den stärksten Vektoren angetrieben" (S. 200). Dies wird später fortgeführt

"Was folgt, was durch zwei Vektoren bestimmt, die gleichzeitig auf dieselbe Frage gerichtet waren:

1. Das Bezugssystem kann sich ändern; es kann willkürlich gewählt werden. Aber um in die Nähe der physikalischen Wirklichkeit zu gelangen, muß ich diese Willkürlichkeit überwinden. Die Grundgesetze müssen unabhängig sein von willkürlich gewählten Koordinaten. Wenn man eine Beschreibung physikalischer Ereignisse zu erhalten wünscht, müssen die Grundgesetze der Physik im Hinblick auf solche Änderungen invariant sein.
2. Hier wird es klar, daß man Einsteins Relativitätstheorie gerechter würde, wenn man sie, genau umgekehrt, Absolutheitstheorie nannte.
3. Die Einsicht in die wechselseitige Abhängigkeit von Zeitmessung und Bewegung reicht zweifellos als solche noch nicht aus. Was jetzt gebraucht wird, ist eine Transformationsformel, die folgende Frage beantwortet: "Wie findet man die Orts- und Zeitwerte eines Ereignisses in bezug auf ein bewegtes System, wenn man die Orte und Zeiten aufgrund von Messungen in einem anderen kennt? Oder besser, wie findet man die Transformation von einem System zum anderen, wenn sie sich relativ zu einander bewegen?"

Welches wäre der einfachste Weg? Um wirklichkeitsgemäß vorzugehen, müßte ich die Transformation auf eine Annahme hinsichtlich gewisser physikalischer Realitäten begründen, die als Invarianten benutzt werden könnten" (S. 205/206)

und weiter:

"In einem leidenschaftlichen Verlangen nach Klarheit schaute Einstein der Beziehung zwischen der Lichtgeschwindigkeit und der Bewegung eines Bezugssystems gerade ins Gesicht; er stellte die theoretische Struktur der klassischen Physik und den Befund Michelsons einander gegenüber.

Ein Teilbereich in diesem Gebiet wurde fragwürdig und wurde einer gründlichen Überprüfung unterworfen.

Im Licht dieser Prüfung wurde eine große Lücke entdeckt (in der klassischen Behandlung der Zeit).

Die Schritte, die zur Behebung dieser Schwierigkeit erforderlich waren, wurden gefunden.

Schließlich hatten sämtliche beteiligten Einzelsachverhalte ihre Bedeutung geändert.

Nachdem eine letzte Willkürlichkeit in der Situation beseitigt war, kristallisierte sich ein neuer Aufbau der Physik heraus.

Es wurden Pläne entworfen, um das neue System der experimentellen Prüfung zu unterwerfen.

Dieser Prozeß brachte radikale strukturelle Änderungen mit sich, Änderungen hinsichtlich der Getrenntheit und inneren Bezogenheit, der Gruppierung, der Zentrierung usw.; zugleich eine Vertiefung, einen Wandel der Bedeutung der beteiligten Teilsachverhalte, ihrer strukturellen Rolle, Stelle und Funktion bei dem Übergang von der Struktur I zu der Struktur II" (S. 215/216).

Dabei ist unter Struktur I die der klassischen Physik und unter II die relativistische Position zu verstehen.

Der einzige Kommentar Einsteins zu diesen Ausführungen Wertheimers findet sich in seiner Antwort an Hadamard 1944 (Hadamard, 1945): "Remark: Professor Max Wertheimer has tried to investigate the distinction between mere associating or combining of reproducible elements and between understanding [*organisches Begreifen*]. You may be interested in the manuscript (not yet published). I cannot judge how far this psychological analysis catches the essential point". Angesichts des großen Interesses, das Einstein an Prozessen des Denkens hatte, stellt dies eine deutliche Kritik dar, die besonders gut erklärlich wird, wenn man die Ausführungen Wertheimers damit vergleicht, was Einstein selbst in einem Brief an Davenport (publ. in Holton 1973) über die Bedeutung des Michelson-Morley-Experiments für ihn schreibt:

"In my own development Michelson's result has not had a considerable influence. I even do not remember if I knew of it at all when I wrote my first paper on the subject (1905). The explanation is that I was, for general reasons firmly convinced how this could be reconciled with our knowledge of electrodynamics. One can therefore understand why in my personal struggle Michelson's experiment played no role or at least no decisive role".

Weitere Details zur Frage, in welchen Punkten Wertheimers Rekonstruktion vom tatsächlichen Verlauf der Problemlösung bei Einstein abweicht, finden sich in Miller, 1984, Kap. 5.

Anders aber als es Miller darstellt, sehe ich die Ursache der Abweichungen nicht in einer prinzipiellen Schwäche des gestalttheoretischen Vorgehens, sondern in der Tatsache, daß Wertheimer ganz allgemein die Bedeutung konkreter Experimente für die Fortentwicklung der Einstein'schen Theorien überschätzt hat, was auf dem

Hintergrund des explizit experimentellen Arbeitens Wertheimers in Physik, Physiologie und Psychologie plausibel erscheint. Seine Phänomenologie des Denkens, wonach u.a. man darin "die Situation in Richtung struktureller Verbesserung verändert, was einschließt: daß Lücken, verworrene Stellen, Störungen, Oberflächlichkeiten gesehen und strukturell behandelt werden" (Wertheimer, 1964, S. 221), beschreibt durchaus korrekt die grundsätzlichen Denkweisen Einsteins, nur berücksichtigt er nicht hinreichend, daß für Einstein quasi-wahrnehmungsmäßige Eigenschaften von Theorien wie z.B. Symmetrie, eine weitaus stärkere erkenntnisleitende Funktion hatten als die sog. experimenta crucis, die für Gestaltpsychologen (s. z.B. Metzger 1952) von zentraler Bedeutung waren. Betrachtet man jedoch die Gestaltpsychologie und speziell gestalttheoretische Wahrnehmungspsychologie als Forschungsprogramm i.S. von Lakatos (1970), dann wird deutlich, daß es so etwas wie ein experimentum crucis gar nicht geben kann, da selbst in einem hoch integrierten Wissenschaftsbereich wie dem der modernen Physik Experimente lediglich dazu dienen können, um bestimmte Möglichkeiten auszuschließen oder theoretische Interpretationen zu stützen, nicht aber sie zu beweisen.

Abschluß

Die Phänomenologie des Neckerwürfels, die Entwicklung der perspektivischen Darstellung und die drei ausgeführten Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte illustrieren m.E. zum einen die Rolle, die Wahrnehmung und quasi-wahrnehmungsmäßige Faktoren in der Generierung wissenschaftlicher Erkenntnisse und künstlerischen Gestaltung spielen. Sie zeigen darüber hinaus, daß Wissenschaft weder auf das deduktionistische Modell der Logik noch auf das Modell der direkten Abbildung und der auf ihr basierenden und auf sie jeweils direkt zurückzuführenden Induktionen reduzierbar ist; m.E. besteht Wissenschaft als "höhere Form der Wahrnehmung" genau wie diese einerseits aus einem konstruktivistischen Anteil, also den Prozessen und Mechanismen der aktiven Wahrnehmung, die aber andererseits in Interaktion mit der physikalischen Welt sich herausgebildet haben, wodurch sichergestellt wird, daß sowohl die Wahrnehmung wie auch die Wissenschaft sich auf Reales bezieht.

Diese Position des interaktiven Realismus findet sich bei Shepard (1987, S. 269) auf den Punkt gebracht:

"I have argued that to the extent that the principles of the mind are not merely arbitrary, their most likely ultimate sources are the abiding regularities in the world (Shepard, 1981). Among such external regularities, the most abiding are

the ones that in the long run should have the greatest opportunity to become internalized - however abstract those regularities maybe...[t]he facts that space is three-dimensional, that objects have six degrees of freedom of global motion, that light and darkness alternate with a fixed period, and that sets of objects having the same significant consequences tend to form a compact region in an appropriate parameter space....".

Folgt man dieser Argumentation, dann bilden diese Untersuchungen über Wirkmechanismen der Wahrnehmung vielleicht einen Schritt zu allgemeinen, weder kultur- noch zeitabhängigen Prinzipien der Erkenntnis.

Literatur

Berlin, B., Kay, P. (1969) *Basic color terms: Their universality and evolution*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Castañeda, C. (1968) *The teachings of Don Juan*. Berkeley, Cal.: University of California Press.

Feldman, J.A., Ballard, D.H. (1982) Connectionist models and their properties. *Cognitive Science*, 6, 205-254.

Fodor, J.A., (1968) *Psychological explanation* New York: Random House

Freyd, J.J. (1983) Shareability: The social psychology of epistemology. *Cognitive Science*, 7, 191-210.

Gibson, J. J. (1971) *The information available in pictures*. Leonardo, 4, 27-35.

Gibson, J.J. (1973) *On the concept of formless invariants in visual perception*. Leonardo, 6, 43-45.

Goodale, M.A., Milner, A.D. (1992) Separate visual pathways for perception and action. *TINS*, 15, 20-25.

Gregory, R.L. (1980) Perceptions as hypotheses. *Phil. Trans. Royal Soc.*, 290, 181-197.

Gross, C.G. (1973) Inferotemporal cortex and vision. *Progress in Physiological Psychology*, 5, 77-123.

- Guzmán, A. (1969) Decomposition of a visual scene into three-dimensional bodies. In: A. Grasselli (Ed.) *Automatic interpretation and classification of images*. New York: Academic Press.
- Hadamard, J. (1945) *The psychology of invention in the mathematical field*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Heisenberg, W. (1969) *Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik*. München: Piper.
- Hochberg, J. (1962) The psychophysics of pictorial perception. *Audio-visual Communications Review*, 10, 22-54.
- Hochberg, J., Brooks, V. (1960) The psychophysics of form: Reversible-perspective drawing of spatial objects. *American Journal of Psychology*, 73, 337-354.
- Holton, G. (1973) *Thematic origins of scientific thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Huxley, A. (1954) *The doors of perception*. New York: Harper & Row.
- Huygens, C. (1888-1950) *Oeuvres complètes, publiées par la société Hollandaise des Sciences*, Vol. XV: Observations astronomiques. *Travaux astronomiques*, 1658-66. La Haye.
- Kay, P., McDaniel, C.K. (1978) The linguistic significance of the meanings of basic color terms. *Language*, 54, 610-646.
- Kay, P., Kempton, W. (1984) What is the Sapir-Whorf Hypothesis? *American Anthropologist*, 86, 65-79
- Klopfer, D., Cooper, L.A. (1985) Using apparent motion to measure the structure of perceived space. *Paper presented at the Twenty-sixth Annual Meeting of the Psychonomic Society, Boston, MA*.
- Köhler, W. (1920) *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*. Erlangen: Verlag der Philosophischen Akademie.
- Koffka, K. (1935) *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt Brace.

Kriz, J., Lück, H.E., Heidbrink, H. (1990) *Wissenschafts- und Erkenntnistheorie*. Opladen: Leske + Budrich.

Lakatos, I., Musgrave, A. (1970) *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.

Li, W., Packard, N.H., Langton, Ch. G. (1990) Transition phenomena in cellular automata rule space. In: H. Gutowitz (Ed.) *Cellular automata*, pp. 77-94. Amsterdam: North-Holland.

Marr, D. (1982) *Vision*. New York: Freeman.

Maturana, H.R., Varela, F.J. (1975/dt. 1982) Autopoietische Systeme: eine Bestimmung der lebendigen Organisation. In: H.R. Maturana (Ed.) *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*. Braunschweig: Vieweg.

McClelland, J.L., Rumelhart, D.E. (1986) *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Vol. 2, Psychological and biological models*. Cambridge, Mass.: Bradford Books.

Metzger, W. (1952). Das Experiment in der Psychologie. *Studium Generale*, 5, 142-163.

Miller, A. I. (1984) *Imagery in scientific thought. Creating 20th-century physics*. Boston: Birkhäuser.

Mishkin M., & Ungerleider L.G. (1982) Contribution of striate inputs to the visuopatialfunctions of parieto-preoccipital cortex in Monkeys. *Behavioral Brain Research*, 6, 57-77.

Naranjo, C. & Ornstein, R.E. (1971) *On the psychology of meditation*. New York: The Viking Press.

Ornstein, R.E. (1978) *The mind field*. New York: Pocket Books.

Panofsky, E. (1980) *Die Perspektive als symbolische Form*. Aufsätze zu Grundfragen der Kunstwissenschaft. Berlin: Hessling.

Penrose, R. (1973) In praise of illusion. In: R.L. Gregory and E.H. Gombrich (Eds.) *Illusion in nature and art*. London: Duckworth.

Perkins, D.N. (1968) Cubic corners. *Quarterly Progress Report 89*, M.I.T. Research Laboratory of Electronics, pp. 207-214. (Reprinted in Harvard Project Zero Technical Report no. 5, 1971).

Perkins, D.N. (1972) Visual discrimination between rectangular and nonrectangular parallelepipeds. *Perception and Psychophysics*, 12, 396-400.

Perkins, D.N. (1973) Compensating for distortion in viewing pictures obliquely. *Perception and Psychophysics*, 14, 13-18.

Pirenne, M.H. (1970) *Optics painting & photography*. Cambridge: Cambridge University Press.

Pylyshyn Z. W. (1981) Cognition and computation: Issues in the foundation of cognitive science. *Behavior & Brain Sciences*, 3, 154-169.

Ramachandran V.S.(1988) Perception of shape from shading. *Nature*, 331, 133-166.

Rechenberg, I. (1990, 2. Aufl.) Evolutionsstrategie - Optimierung nach Prinzipien der biologischen Evolution. In: J. Albertz (Hrsg.) *Evolution und Evolutionsstrategien in Biologie, Technik und Gesellschaft. Schriftenreihe der Freien Akademie, Bd. 9*. Hofheim: Hofheimer Druck- und Verlagsanstalt.

Reeke, G.N. jr., Edelman, G.M. (1984) Selective networks and recognition automata. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 426, 189.

Roth, G. (1987) Das konstruktive Gehirn: Neurobiologische Grundlagen von Wahrnehmung und Erkenntnis. In: S.J. Schmidt (Hrsg.) *Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Schmidt, S.J. (1987) *Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Shepard, R.N. (1981) Psychophysical complementarity. In: M. Kubovy and J. Pomerantz (Eds.) *Perceptual organization*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Shepard, R.N. (1984) Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417-447.

