

Feldtheorie heute – von Wolfgang Köhler zu Karl Pribram* **

M. Stadler

Universität Bremen, FB 6, Psychologie
Mit 7 Abbildungen

Wenn ich heute von Feldtheorie sprechen will, dann meine ich die psychophysische Feldtheorie von *Wolfgang Köhler*. Es existiert innerhalb der Gestalttheorie daneben und unabhängig davon die rein psychologische Feldtheorie von *Kurt Lewin*, von der ich heute nicht sprechen will. Die psychologische Feldtheorie von *Kurt Lewin* hat sich seit ihrer Ausarbeitung in den 30er Jahren zunehmender Beliebtheit und zunehmenden Einflusses erfreut, und sie ist heute weitgehend zum Allgemeingut der Psychologie geworden, ohne daß *Kurt Lewin* in jedem einzelnen Fall als ihr Autor zitiert würde. Einen weniger kontinuierlichen Erfolgsverlauf hat die psychophysische Feldtheorie von *Wolfgang Köhler* zu verzeichnen. Sie wurde von *Köhler* im Anschluß an einige Bemerkungen und theoretische Vorarbeiten von *Max Wertheimer* (1912) in seinem ersten Hauptwerk „Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand“ (1920) zum erstenmal in allgemeiner Form vorgestellt. *Wolfgang Köhler* fand erst Anfang der 40er Jahre das psychologisch-experimentelle Paradigma seiner Feldtheorie in Form des Phänomens der figuralen Nachwirkungen (1940, 1944). Diese Arbeiten wurden auch in den USA richtungsweisend und stellten den Anfang für hunderte von experimentellen Untersuchungen an allen psychologischen Laboratorien der ganzen Welt dar (s. zusammenf. *Malhotra* 1966). Seit 1949 begann *Köhler* mit Mitarbeitern auch die Suche nach entsprechenden physiologischen Mechanismen, die dem Phänomen der figuralen Nachwirkungen zugrunde liegen sollten. Die letztgenannten Arbeiten wurden von Psychophysiologen selten zitiert und nie richtig akzeptiert. Mit *Köhlers* Tod 1967 verringerte sich die Zahl der Arbeiten zu figuralen Nachwirkungen in den Psychological Abstracts von Jahr zu Jahr. Sollte mit *Wolfgang Köhler* auch seine psychophysische Feldtheorie zu Ende gegangen sein? Mit dieser Frage soll sich der erste Teil meines Vortrages beschäftigen.

Im zweiten Teil möchte ich über feldtheoretische Ansätze berichten, die ohne Bezug auf *Köhlers* spezielle Feldtheorie den Postulaten seiner allgemeinen Feldtheorie von 1920 entsprechen. Es sind dies Ansätze der sowjetischen Forscher *Bernstein* und *Luria* und im Besonderen die Theorie des amerikanischen Neuropsychologen *Karl Pribram* zur holographischen Arbeitsweise des Gehirns.

Wolfgang Metzger pflegte das psychophysische Problem gelegentlich mit einer Tunnelbohrung zu vergleichen, bei der Psychologen auf der einen Seite des Berges und Physiologen auf der anderen Seite des Berges zu arbeiten beginnen und beide Arbeitsgruppen hoffen, daß sie sich irgendwo auf halbem Wege treffen werden. Das Bild wird auch gerne insofern weitergesponnen, als man von Klopfeisen spricht, die die eine Arbeitsgruppe der anderen geben muß, um das Zusammentreffen zu realisieren. Hierdurch wird sehr schön der Notwendigkeit Ausdruck gegeben, daß

* Vortrag gehalten auf der 2. wissenschaftlichen Arbeitstagung der „Gesellschaft für Gestalttheorie und ihre Anwendungen“ vom 9.–11. April 1981 am Zentrum für interdisziplinäre Forschung der Universität Bielefeld.

** Prof. Dr. *Edwin Rausch* zum 75. Geburtstag gewidmet.

die Psychologie ihre Probleme im Bereich der Psychophysik so formulieren muß, daß Physiologen daraus eine Richtung ihrer Forschung ableiten können. Daß diese Klopfscheiben formuliert werden konnten, ist das große Verdienst der frühen Gestalttheorie. Das Tunnelmodell sagt uns jedoch eher etwas über die Arbeitsweise der psychophysischen Forschung als über die Qualität des psychophysischen Zusammenhangs selbst. Wir wollen uns daher zunächst kurz diesem Problem zuwenden.

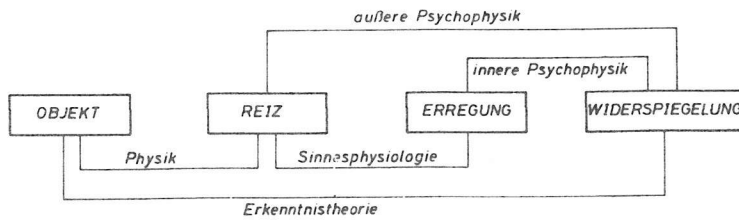


Abb. 1: Fragestellungen der Wahrnehmungsforschung (aus: *Stadler, Seeger und Raeithel* 1975).

Gustav Theodor Fechner (1860) formulierte als erster die Probleme des Verhältnisses von Psychischem und Physischem als Programm der *inneren* und *äußeren Psychophysik*. Die erste Abbildung zeigt die unterschiedlichen Fragestellungen:

Während sich die äußere Psychophysik mit dem Verhältnis von Reiz und Empfindung (Widerspiegelung) beschäftigt, hat die innere Psychophysik das Verhältnis der Vorgänge im zentralen Nervensystem zu den psychischen Prozessen zum Gegenstand.

Die Gestaltpsychologie hat beide Programme der Psychophysik in ihren Forschungen verwirklicht. Die äußere Psychophysik war zunächst in der Nachfolge von *Fechner* lediglich als Problem der Zuordnung von Intensitätsabstufungen des Reizes zu den entsprechenden Intensitätsabstufungen der Empfindung behandelt worden. *Edwin Rausch* hat diese rein quantitative äußere Psychophysik zu einer qualitativen weiterentwickelt, die nach der *Abbildung* eines Ontogramms (der Vorlage) durch ein Phänogramm (die Wahrnehmung) fragt (vgl. 1952, S. 2 f.). Das Programm der inneren Psychophysik fand in *Wolfgang Köhlers* Feldtheorie ihre erste wissenschaftliche Ausformulierung. Hier war die Bezugsebene für die Wahrnehmungsphänomene nicht die Geometrie der Reize sondern die Dynamik der zwischen beiden liegenden Gehirnvorgänge.

Die zweite Abbildung versucht das psychophysische Problem nun als Einheit von innerem und äußerem psychophysischen Verhältnis zu begreifen. Zentralnervöse Vorgänge und psychische Prozesse bilden demnach einen in sich einheitlichen *Widerspiegelungsprozeß* der äußeren, objektiven Realität. Während die physische Seite dieses Widerspiegelungsprozesses aber in einem kausalen Verhältnis (ent-

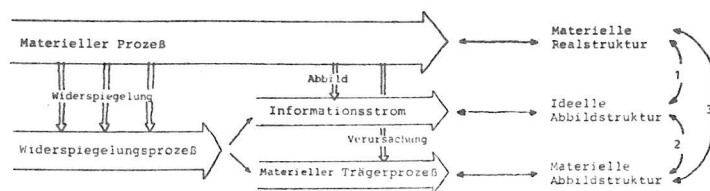


Abb. 2: Schema zum psychophysischen Verhältnis; s. Text (aus: *Stadler, Seeger und Raeithel* 1975).

sprechend einem Reiz-Erregungsprozeß) zur äußeren Realität steht, steht die psychische Seite des Widerspiegelungsprozesses in einem Abbildungsverhältnis zur objektiven Realität. Der psychophysische Prozeß kann demnach als Einheit eines physisch-energetischen und eines informationsübertragenden Prozesses angesehen werden.

Der energetisch-physische Prozeß der Reizleitung von der Sinnesfläche zum zentralen Nervensystem wurde noch in der Zeit, als *Wertheimer* und *Köhler* sich mit der Entwicklung der psychophysischen Feldtheorie beschäftigten, von den Physiologen als eine *punktueller Zuordnung* angesehen.

Diese Theorie war aus der neuroanatomischen Erkenntnis gewachsen, daß sowohl die Sinnesfläche – z. B. die Netzhaut – aus einem punktuellen Muster kleinster Sinneszellen zusammengesetzt ist, als auch, daß die Großhirnrinde auf der anderen Seite aus einem Netz von Ganglienzellen und deren überwiegend vertikalen Verbindungen besteht. Diese Ansicht war um die Jahrhundertwende so verbreitet, daß sie sich sogar in der zeitgenössischen Kunst der Impressionisten wiederfand. Die Pointillisten *Signac* und *Seurat* wollten mit ihren aus lauter einzelnen Farbtupfern aufgebauten Bildern eine dem menschlichen Wahrnehmungssystem möglichst adäquate Vorlage schaffen.

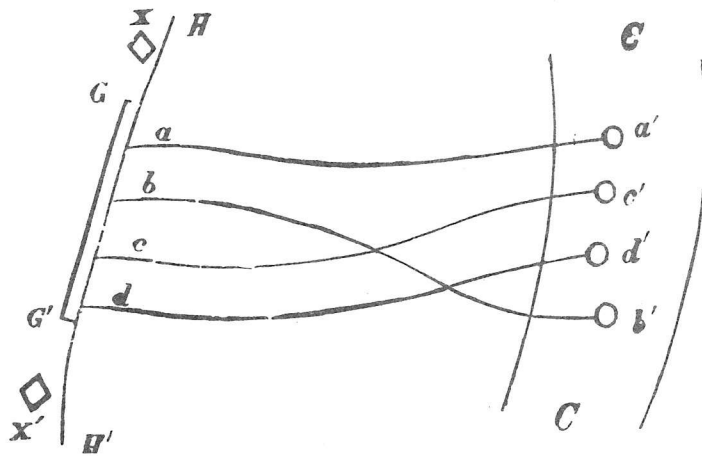


Abb. 3: Punkt-zu-Punkt-Zuordnung zwischen Sinnesfläche und Cortex (nach *Ziehen* 1914).

Für solche neuroanatomischen und neurophysiologischen Auffassungen mußte Köhlers *Isomorphie-Postulat* wahrlich revolutionär wirken. Dieses besagte nicht mehr und nicht weniger, als daß allem psychischen Geschehen ein psychophysischer Prozeß zugrundeliegt, der diesem gleichgestaltet ist. Daraus ergab sich ein Widerspruch zu den Kenntnissen über den Aufbau des zentralen Nervensystems, der bis heute fortbesteht. Einer grundsätzlich kontinuierlichen räumlichen Verteilung der Wahrnehmungswelt widersprach die komplizierte Mikrostruktur und die Diskontinuität des nervösen Feldes, und der zeitlichen Kontinuität des Psychischen widersprach die zeitliche Diskontinuität des nervösen Prozesses, der nach dem *Alles-oder-Nichts-Gesetz* zu einem gegebenen Zeitpunkt entweder eine vollständige Erregung produziert oder ruht (*Metzger* 1961). Da das Psychische dem Forscher

jederzeit direkt zugänglich ist, der diesem isomorphen psychophysischen Prozeß jedoch noch hinsichtlich seiner materiellen Grundlage und seiner Prozeßparameter weitgehend unbekannt ist, folgte für Köhler und die Gestalttheorie aus dem Isomorphie-Postulat zwangsläufig das *phänomenologische Postulat* oder wie es Metzger (1952) nannte, „der methodische Primat des Seelischen in der Psychophysik“. Dies bedeutete, daß der im Rahmen des Isomorphie-Postulats zu suchende psychophysische Prozeß den anschaulichen Gegebenheiten der Wahrnehmungswelt und des Bewußtseins nicht widersprechen durfte.

Köhler folgte diesen Grundsätzen so radikal, daß er die gesuchten Prozeßparameter nicht auf die damals bereits bekannte Mikrostruktur des zentralen Nervensystems bezog, sondern dieses lediglich in seiner Funktion als homogener Leiter betrachtete, in welchem sich nach einem freien Spiel der Kräfte psychophysische Feldprozesse, wie sie Jahre vorher in der Physik von Maxwell mathematisch formuliert worden waren, ausbreiten konnten.

Offensichtlich existierten damals in der Physik zwei unterschiedliche Vorstellungen über die Natur der Felder: eine, nach welcher die Umgebung geladener Körper modifiziert bzw. von der Wirkung des magnetischen Feldes durchdrungen wird, und eine andere, nach welcher sich die Erstreckung der Materie gewissermaßen bis an die Grenze der Reichweite ihres elektrischen Feldes vorzustellen ist (vgl. Köhler 1924, S. 70 ff.). Letzterer Ansicht, welche Materie nicht nur in der Erscheinungsform fester Körper sondern auch in der Form real wirksamer Kräfte ansieht, scheint auch Keiler (1972) bei seiner materialistischen Interpretation der psychophysischen Feldtheorie zuzuneigen.

Die netzförmige neuronale Struktur des Gehirns, deren Zwangsläufigkeit und „Maschinenhaftigkeit“ Köhler immer wieder beklagte (z. B. 1955), war für ihn nichts anders als der Energielieferant für die eigentlichen, nicht durch das nervöse Substrat gebundenen, feldförmigen psychophysischen Prozesse. Die geometrischen Beziehungen der Reize zueinander sollten nach Köhler im Rahmen der psychophysischen Felder durch funktionale Beziehungen abgebildet werden. Solche funktionalen Beziehungen, für die die Geometrie der Reize nur ein Ausgangspunkt ist, sind im Bereich des Psychischen die eigentlichen Träger der Sinnhaftigkeit.

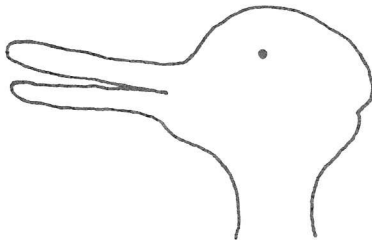


Abb. 4: Mehrdeutiges Muster: Hasen- oder Entenkopf?

Diese *allgemeine Feldtheorie Köhlers* konnte in der Tat den psychischen Gegebenheiten am besten entsprechen: stroboskopische Bewegungen, Wahrnehmungskontraste, geometrisch-optische Täuschungen, Größenkonstanz, Formkonstanz, Helligkeitskonstanz usw. ließen sich durch eine solche Theorie erklären. Köhlers allgemeine Feldtheorie erhielt in der Gehirnforschung Unterstützung durch die Vertreter der sog. „Plastizitätslehre“ (Bethe, Goldstein, Lashley). Diese Forscher grün-

deten ihre Lehre von der funktionellen Organisation des zentralen Nervensystems auf Beobachtungen an Hirnverletzten, die zeigten, daß umschriebene Zerstörungen des Gehirngewebes keinesfalls zwangsläufig umschriebene Ausfälle im Bereich des Verhaltens und Erlebens nach sich ziehen mußten, wodurch eine feste Bindung der psychischen Prozesse an das nervöse Substrat ausgeschlossen werden konnte.

Nachdem sich *Köhler* in seiner Berliner Zeit zusammen mit seinen Schülern der Ausarbeitung und experimentellen Absicherung der allgemeinen psychophysischen Feldtheorie gewidmet hatte, begann er nach seiner Emigration in die USA die Ausarbeitung der *speziellen psychophysischen Feldtheorie*, innerhalb derer der dem Psychischen isomorphe zentralnervöse physiologische Prozeß benannt werden sollte. Getreu dem phänomenologischen Postulat begann *Köhler* zunächst zusammen mit *Wallach* einen Typ von Wahrnehmungsuntersuchungen voranzutreiben, der es erlauben sollte, Eigenschaften solcher physiologischer Prozesse näher zu bestimmen. *Köhler* bot dazu seinen Versuchspersonen einfache geometrische Figuren für eine zeitlang dar und beobachtete, daß anschließend im selben Bereich des Gesichtsfeldes dargebotene Testfiguren in charakteristischer Weise verändert erschienen. Es handelt sich bei diesen *figuralen Nachwirkungen* je nach Inspektionsfigur um Veränderungen der Größe, der Form, der Richtung, der Helligkeit und der räumlichen Tiefe.

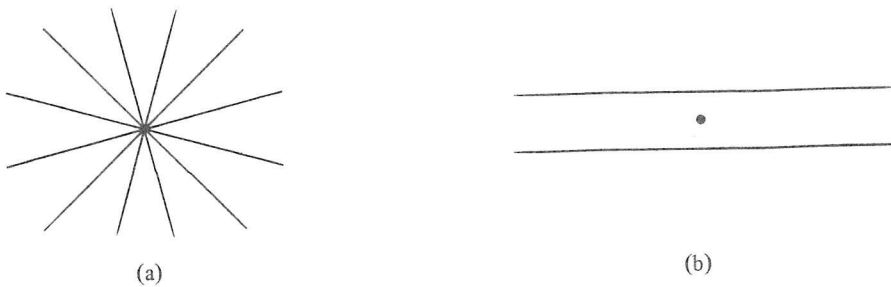


Abb. 5: Muster zur Erzeugung figuraler Nebenwirkungen. Man fixiere a) für 30 sec im Mittelpunkt, wobei b) verdeckt sein sollte. Danach blicke man auf den Fixationspunkt von b).

Bei den im figuralen Nachwirkungsexperiment entdeckten Spuren von physiologischen Prozessen handelt es sich, wie später nachgewiesen werden konnte (*Crabus* und *Stadler* 1971) gemäß der Forderung von *Lashley* (1930) um funktionale Prozeßeinheiten, die gegenüber der anatomischen Struktur des zentralen Nervensystems verschieblich sind. Außerdem ändert sich die Stärke von figuralen Nachwirkungen in der Nähe der Kontur einer (Inspektions-)Figur nicht sprunghaft, sondern die empirischen Werte des Abdrängungseffektes entsprechen der ersten Differentialableitung der Dichtefunktion einer theoretischen Normalverteilung. Figurale Nachwirkungen besitzen also die von *Köhler* geforderten Charakteristika von Feldprozessen, die sich entsprechend dem freien Spiel der Kräfte und nicht in festgelegte Bahnen gezwungen entwickeln können. *Köhler* vermutete nun, daß die Wahrnehmung von Figuren begleitet wird von schwachen Gleichströmen im zentralen Nervensystem, die durch die Potentialdifferenzen an den Membranen (insbesondere an den Synapsen) erregter Nervenzellen gegenüber nicht erregten Nervenzellen entstehen. Solche Gleichströme erzeugen nun, wie in der Physiologie lange

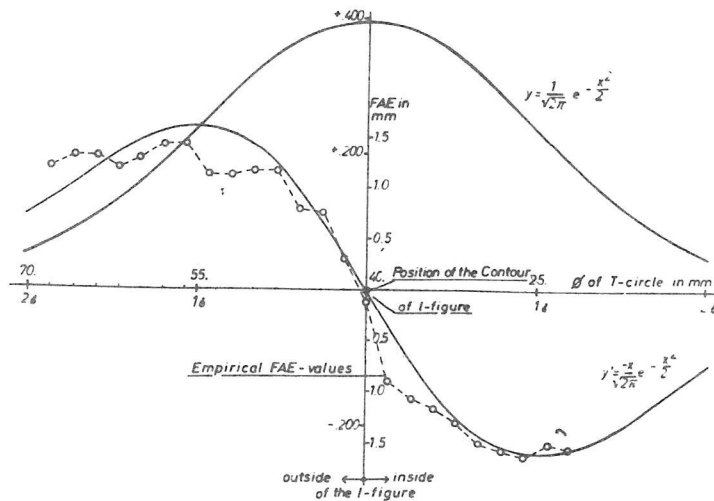


Abb. 6: Stärke der figuralen Nachwirkungen in unterschiedlichem Abstand von der Kontur des Inspektions-Kreises (aus: *Crabus* und *Stadler* 1971).

bekannt ist, eine Erhöhung des Widerstandes im Gewebe, die als Elektrotonus bezeichnet wird. Die Verzerrungen der Struktur von Testfiguren bei figuralen Nachwirkungen sind nun nach *Köhler* nichts anderes als die Wirkungen des erhöhten Widerstandes im Gewebe zwischen den Nervenzellen, auf welchen die Figurströme dieser Testfiguren treffen. Was lag für *Köhler* und seine Mitarbeiter näher, als zu versuchen, solche Gleichströme, die das psychophysische Korrelat visueller Wahrnehmungen sein sollten, direkt zu messen. Dies gelang durch Ableitung des okzipitalen EEG bei Menschen, denen ein bewegter Lichtstreifen dargeboten wurde (*Köhler* und *Held* 1949; *Köhler*, *Held* und *O'Connell* 1952). Es zeigte sich eine deutliche Positivierung im EEG, welche ihr Maximum erreichte, wenn der Lichtstreifen den Fixationspunkt und damit die Fovea passierte. Diese Untersuchungen konnte *Köhler* später am eröffneten Katzenhirn bestätigen (*Köhler* und *O'Connell* 1957).

Köhler meinte nun mit diesen Untersuchungen, die er als APA-Präsident und auf dem internationalen Psychologenkongreß in Brüssel 1957 (1959) durch einen Festvortrag weltweit verbreitet hatte, genügend Klopffzeichen bei seiner Tunnelbohrung abgegeben zu haben. Aber die Neurophysiologie hatte bei ihrer Bohrung von der anderen Seite inzwischen eine leichte Kursänderung vorgenommen und damit *Köhlers* Klopffzeichen verfehlt. Nachdem zwei bedeutende amerikanische Neurophysiologen (*Lashley* u.a. 1951 und *Sperry* u.a. 1955) *Köhlers* Befunde in zwei bis heute außerordentlich umstrittenen Experimenten nicht bestätigt hatten (vgl. *Köhler* 1965; *Keiler* 1981), wurde es in der internationalen Fachliteratur still um die spezielle psychophysische Feldtheorie. Die erwähnte Kursänderung war etwa gleichzeitig mit *Köhlers* ersten Untersuchungen zu figuralen Nachwirkungen seit Beginn der 40er Jahre durch den amerikanischen Physiologen *Hartline* mit Untersuchungen am Facettenauge des Pfeilschwanzkrebses (*Limulus*) ausgelöst worden. *Hartline* stellte fest, daß die auf der Retina aufgenommene Umweltinformation nicht linear über den Sehnerven weitergeleitet wird, sondern daß bereits in der

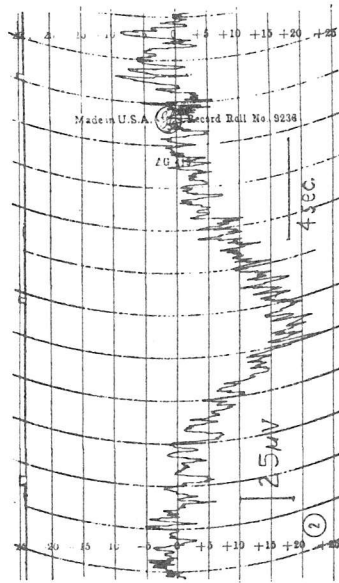


Abb. 7: Kortikale Reizantwort eines bewegten Lichtstreifens beim Passieren der Fovea (aus: Köhler und O'Connell 1957).

Netzhaut von jeder Nervenzelle laterale Verzweigungen mit hemmendem Einfluß auf die Nachbarzellen ausgehen. Dieses Modell der *lateralen Inhibition* war nun in der Folge ein sehr fruchtbarer Ansatz zur Erklärung der Kontrasteffekte im visuellen System und auf anderen Sinnesgebieten (vgl. Ratliff 1965, v. Békésy 1966) (Abb. 8).

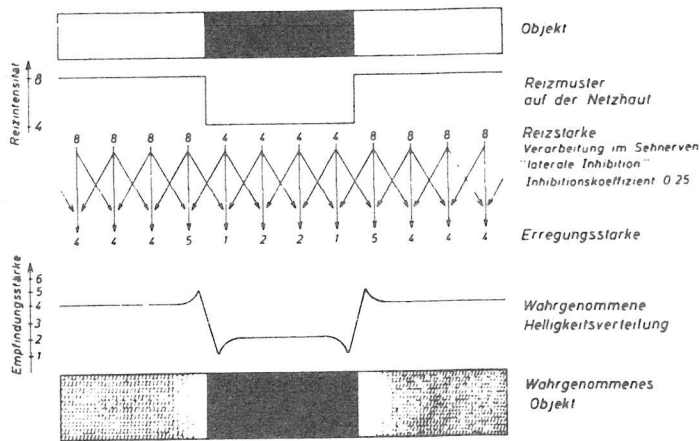


Abb. 8: Schematische Darstellung der Erklärung des Randkontrastes durch laterale Inhibition (aus: Stadler, Seeger und Raethel 1975).

Das Verarbeitungsprinzip der lateralen Interaktion beinhaltet die Vorstellung einer aufsteigenden Divergenz und Konvergenz im visuellen System, bei der sich von der Retina ausgehend säulenförmige *rezeptive Felder* mit jeweils einem erregbaren Zentrum und einem hemmenden Umfeld ausbilden, durch die auf jeder Ebene des Systems immer stärker pointierte Superzeichen entstehen, durch die das Chaos retinaler Information selegiert und auf dem Wege zur Großhirnrinde strukturiert werden sollte. Durch die Technik der Ableitung der Aktivität einzelner Ganglienzellen durch Mikroelektroden fanden die Physiologen immer mehr für bestimmte Reizcharakteristika spezifische rezeptive Felder auf allen Niveaus des visuellen Systems, z. B. für bestimmte Raumrichtungen, für Punkte, für Ecken und Kanten, für dunkle Flächen u. ä. (vgl. *Lettvin* u. a. 1959, *Hubel* und *Wiesel* 1959). Biologen sprachen im Laborjargon bereits gern vom „Tante-Emma-Neuron“, in welchem nach all dieser hierarchisch strukturierten Verarbeitung, Selektion und Kombination verschiedener Aspekte des Reizmusters am Ende alle Information über einen komplexen Sachverhalt wie Tante Emma in einer einzigen Ganglienzelle konvergieren mußte. Diese neue Entwicklung in der Neurophysiologie wurde zunächst von den Psychophysikern unter den Gestaltpsychologen positiv aufgenommen: *Metzger* (1961) deutete die laterale Interaktion versuchsweise als Bestätigung der schon von *Wertheimer* (1912) im Zusammenhang mit der Erklärung der stroboskopischen Bewegung geforderten *Querfunktionen* im Nervensystem. Andererseits wies jedoch *Köhler* bereits 1957 darauf hin, daß *Hartline's* laterale Inhibition nur eine von zwei Möglichkeiten der Wechselwirkung im Nervensystem darstellte und daß diese eben nicht diejenige der Feldtheorie sei, bei der sich transversale Wechselwirkungen gerade nicht auf histologische Elemente beschränken, sondern sich weit über diese hinaus frei im Gewebe ausbreiten sollten. Auch der Versuch, die figuralen Nachwirkungen durch laterale Hemmung zu erklären (*Ganz* 1964) mußte daher zurückgewiesen werden (*Stadler* 1972).

Das Modell der netzförmigen Verschaltung des zentralen Nervensystems wurde sehr schnell zum neuen Paradigma der inneren Psychophysik. Nicht zuletzt deswegen, weil es sich sehr gut mit den gleichzeitig entwickelten Computermodellen der Gehirnfunktion auf der Grundlage digitaler Verarbeitung vertrug. So wurde durch *Norbert Bischof* (1966) den beiden psychophysiologischen Rahmensätzen *Köhlers* – dem phänomenologischen Grundsatz und dem Isomorphiepostulat – noch als dritter der „*Grundsatz der gebundenen Erregungsleitung*“ hinzugefügt. Selbst wenn Mathematiker immer wieder gern versichern, daß das Kontinuum nichts anderes als ein Grenzfall diskreter Verteilungen sei, was durch die moderne Analog-Digital-Wandler-Technik anschaulich bestätigt wird, so ist dennoch der Grundsatz der gebundenen Erregungsleitung in mehrerlei Hinsicht unvereinbar mit *Köhlers* psychophysischen Postulaten. Selbst wenn das Feuern einer ganz bestimmten Zelle auf der Großhirnrinde ein Superzeichen höchster Ordnung für einen äußerst komplexen Basissachverhalt sein sollte (z. B. Tante Emma), so bleibt doch die Frage, inwiefern das Feuern dieser Zelle dem gleichzeitigen Reichtum der Erlebniswelt isomorph sein könnte. Zum anderen ist die durch *Bethe*, *Lashley* und andere immer wieder beobachtete funktionelle Plastizität des zentralen Nervensystems keinesfalls mit einem Modell fest verdrahteter, wie immer verschalteter, nervöser Elemente in Einklang zu bringen. Um nicht mißverstanden zu werden: Das Prinzip der lateralen Inhibition und der rezeptiven Felder stellt einen bedeutenden Fortschritt hinsichtlich der Erkenntnis der Verarbeitungsweise des Gehirns dar, der nicht umsonst zweimal mit dem Nobelpreis geehrt wurde. Dieses Verarbeitungsprin-

zip besitzt auch in der Wahrnehmungspsychologie einen großen Erklärungswert, es kann aber u. E. nicht das unmittelbare psychophysische Substrat der Erlebniswelt sein, wie es im Rahmen des Isomorphiepostulats der Feldtheorie zu fordern wäre.

Das Paradigma der gegenwärtigen Neurophysiologie läßt jedoch seine Anomalien bereits erkennen. Von Neuroanatomen wird die Erkenntnis ins Feld geführt, daß das zwischen den Ganglienzellen liegende Glia-Gewebe des Gehirns keinesfalls, wie es noch Köhler annehmen mußte, einen homogenen Leiter darstellt. Vielmehr ist dieses von dichten Neurofibrillengittern durchsetzt, was die These von der ausschließlich metabolischen Funktion des Glia-Gewebes ins Wanken bringt. Auch ist der *Grauzellenkoeffizient*, das Verhältnis von nicht neuralem zu neuralem Gewebe im Cortex, beim Menschen erheblich höher als bei den übrigen Wirbeltieren und beim Erwachsenen deutlich größer als beim neugeborenen Kind (vgl. Bauer 1967). Auch namhafte Neurophysiologen wiesen in letzter Zeit häufiger darauf hin, daß Vorgänge im zentralen Nervensystem, insbesondere solche, die integrativen Charakter besitzen, zwar vom neuronalen Netz ihren Ausgang nehmen, aber nicht an dieses gebunden sein müssen. Grüsser u. a. (1962) nehmen an, daß für die „Auswertung“ der Information durch neuronale Einzelentladungen ein „langsamer Prozeß“ im Zentralnervensystem existieren müßte, der durch Einzelimpulse „aufsummiert“ würde. Als Raum für solche Prozesse wird die Glia-Substanz in Betracht gezogen. Ebenfalls Sokolov (1963) glaubte, daß die Glia-Zellen bei der Bilderzeugung im Cortex eine Rolle spielten. Spreng und Keidel (1963) untersuchten die Funktion der *langsamen Potentiale*, die am synaptischen Spalt entstehen und sich von dort in das nicht-neuronale Gewebe fortpflanzen, und vermuten, daß diese Potentiale als mögliches Korrelat der Informationsreduktion von 10^9 bit/sec an der Peripherie auf 10^2 bit/sec im Bewußtsein infrage kämen.

Den weitesten Vorstoß in Richtung auf eine neue Feldtheorie auf psychophysischem Niveau hat zweifellos Karl H. Pribram seit Anfang der siebziger Jahre getan. Pribram, ein Schüler Lashley's, schließt dabei gleichermaßen an die Tradition der Plastizitätslehre in der europäischen wie in der russischen Physiologie an. Insbesondere die Untersuchungen von Bernstein (1967) über die Rolle der *Frequenzanalyse* bei der Bewegungsregulation und die Untersuchungen von A. R. Luria (1973) zur Entwicklung *funktioneller Systeme* im zentralen Nervensystem, die nicht an eine anatomische Lokalisation gebunden sind, sondern sich entsprechend der Gesamtsituation immer neu ausbilden, haben Pribrams Ansatz beeinflusst. Pribram (1974, 1975) entdeckte zwei Anomalien, die nicht im Einklang mit dem anerkannten Paradigma der Nervennetze (die durch Digitalcomputer simuliert werden können) stehen. Zum ersten gelingt es bis heute Automaten, die der Bilderkennung dienen, sog. Perceptrons nicht, die Bildkonstruktion lediglich aus Eckpunkten, Kanten, Linien und Kontrasten allein herzustellen. Es fehlen im wesentlichen dabei Texturen, Feinheiten der Oberflächengestaltung und deren innerer Zusammenhang, kurz das, was wir als Gestaltqualitäten bezeichnen würden. Zum zweiten verwies Pribram auf ein bekanntes Phänomen der Hirnverletzten-Forschung, daß bei Gedächtnisausfällen nach Hirnverletzungen in der Regel nicht bestimmte Gedächtnisinhalte ausfallen und andere bestehen bleiben, so daß etwa nach der Rückkehr aus dem Krankenhaus nur die Hälfte der Familie wiedererkannt würde und die andere Hälfte nicht, sondern daß in der Regel entweder das Gedächtnis vollständig zerstört wird oder aber daß überhaupt keine Gedächtnisinhalte verloren gehen. Besonders die letzte Tatsache, die darauf hinweist, daß in jedem Teil des zentralen Nervensystems, in dem Gedächtnisinhalte gespeichert sind, diese vollständig aufgehoben

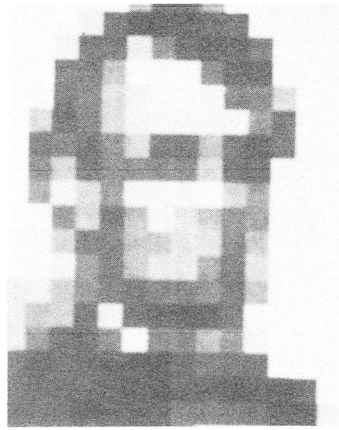


Abb. 9: Großflächiges elektronisch hergestelltes Helligkeitsraster eines Portraits. In großem Abstand oder mit zusammengekniffenen Augen erkennt man die dargestellte Person (aus: *Pribram* 1975).

sind, also immer der Gedächtnisvorrat als Ganzes vorhanden ist, brachte *Pribram* auf den Vergleich mit der *holographischen Bilderzeugung*. Bei diesem erst vor kurzer Zeit bekannt gewordenen optischen Prozeß werden ja Interferenzmuster der Frequenzen zweier Ursprungsprozesse gespeichert, die eine vollständige Rekonstruktion des zweiten Prozesses erlauben, wenn nur der erste Prozeß und das Interferenzmuster vorhanden sind. Es muß also lediglich eine immer gleiche Trägerfrequenz existieren, so daß nur noch deren Interferenzmuster gespeichert werden braucht, um einen komplexen Vorgang, der sich als überlagerte Schwingung darstellt, jederzeit vollständig reproduzieren zu können. Dieses Interferenzmuster kann durch eine Fourier-Analyse, die jedwede komplexe Struktur durch eine Menge verschieden frequenter Sinusschwingungen darstellt, weiter vereinfacht, digital abgespeichert und durch die Inversion dieses Prozesses jederzeit wieder reproduziert werden.

Pribram vermutete nun zunächst (1974), daß die Gedächtnisfunktion des Gehirns wie ein räumlich-zeitlicher Fourier-Analysator arbeitet. Kurz darauf (1975) übertrug *Pribram* dieses *holographische Modell* auch auf Wahrnehmungsprozesse. Im Bereich des Hörens hatte ja *v. Békesy* schon früher (1944) mit seiner Wanderwellentheorie nachgewiesen, daß ein anderes Sinnessystem, hier der akustische Analysator, zur Frequenzanalyse fähig ist. Als Medium, in dem die Frequenzdarstellung von Gedächtnis- und Wahrnehmungsinhalten stattfinden soll, vermutet *Pribram* wiederum die schon mehrmals erwähnten *langsamen Rindenpotentiale*, die an der einzigen Stelle des Nervensystems, die zum übrigen Gewebe hin offen ist, dem synaptischen Spalt, entstehen. Die Transmittersubstanzen bewirken elektrochemische Prozesse, die prä- und postsynaptische Potentiale konstituieren. Diese bilden nach *Pribram* eine Mikrostruktur, die in der Lage sein könnte, Interferenzmuster zu bilden und auf deren Grundlage Verrechnungen vom Typ der Fourier-Analyse durchzuführen. Die Arbeit des Gehirns wäre damit nicht beschränkt auf digitale Prozesse, als die man das Feuern der Neuronen zu bezeichnen hat, sondern es sind interaktive Prozesse wellenförmiger und d. h. auch gleichzeitig feldförmiger Art möglich, die nicht an die neuronale Struktur gebunden sind. *Pribram* sieht nun die Bildung von Interferenzmustern durch langsame Potentiale als horizontale (analoge) Ebene des Informationsaustausches im zentralen Nervensystem an, während

die Vertikalinformation weiterhin digital über Impulse in Nervenzellen weitergeleitet wird. Ein horizontales Informationsmuster nennt *Pribram* ein „Hologramm“. Hologramme sind Grundlage der Bildkonstruktion. Wir haben es also nach dieser Theorie im zentralen Nervensystem mit einem Wechsel von seriellen Prozessen der digital organisierten Nervenleitung und analog-organisierten parallelen Verarbeitungsprozessen, den Hologrammen, zu tun. Letztere stellen einen Prozeß dar, der dem *Köhlerschen* Isomorphiepostulat voll entsprechen könnte, da er in seiner feldförmigen Ausbreitungsart eben solche gestalthaften Wechselwirkungen erlaubt, wie wir sie aus der Wahrnehmungs- und Gedächtnispsychologie kennen.

Die hier vorgetragene Auffassung, daß *Pribrams* holographische Theorie gewissermaßen eine Fortführung des gestalttheoretischen Feldgedankens sei, ist nicht so spekulativ-hypothetisch, wie dies vielleicht manchem Leser im ersten Augenblick erscheinen mag. So finden wir einerseits bei *Köhler* (1924, S. 195 f.) Äußerungen, nach denen zeitunabhängige Gestalten nicht nur Ruhezustände oder stationäre Vorgänge sein können, sondern auch *periodisch-stationäre Verläufe*, die als zeitlich konstant angesehen werden können, wenn das gestaltete Geschehen unterhalb der Schwelle erkennbarer Oszillationen liegt. Phänomenal ruhende Felder, wie sie in der Wahrnehmung auftreten, waren also für *Köhler* auf der Basis höher frequenter Schwingungen denkbar. Auf der anderen Seite finden wir bei *Pribram* (1971, S. 110 ff.) eine Erörterung, nach der die langsamen Rindenpotentiale durchaus den in *Köhlers* spezieller Feldtheorie geforderten Gleichströmen ähnlich sind, mit dem Unterschied allerdings, daß sie nicht ein diffuses Feld in einem homogenen Leiter bilden, sondern daß sie eng an die neuronale Mikrostruktur und an die neuronale Aktivität gebunden sind. Die langsamen Rindenpotentiale werden so nach *Pribram* gewissermaßen zur „dritten Kraft“ zwischen den diskreten neuronalen Vorgängen auf der einen Seite und den ganzheitlich-feldförmigen Charakteristika der Wahrnehmung auf der anderen Seite.

Man könnte jetzt sagen, um im Bilde zu bleiben, wir Psychologen oder besser wir Gestaltpsychologen haben es von der anderen Seite des Tunnels klopfen gehört. Dies würde für uns bedeuten, daß es lohnend sein könnte, nicht nur in der Praxis von „Mitschwingen“, „auf gleicher Wellenlänge liegen“ oder ähnlichen aus der Wellenlehre entnommenen Begriffen zu sprechen oder solche Erlebnisse zu beschreiben, sondern auch im Experimental-Labor gezielt nach Prozessen zu suchen, die eine frequenzanalytische oder holographische Verarbeitungsweise unseres kognitiven Apparates voraussetzen. Ein kleines Experiment, das mein Kollege *Wehner* und ich vor kurzem gemacht haben, möchte ich abschließend erwähnen (*Wehner* und *Stadler* 1982).

Es handelt sich dabei um das Phänomen der Rhythmisierung unterschiedlicher Tätigkeiten, die man gleichzeitig ausführt. Versuchspersonen, die die Aufgabe haben, mittels einer Hebelbewegung eine Tracking-Spur zu verfolgen und gleichzeitig mit der anderen Hand den Rhythmus einer bekannten Melodie klopfen sollen, machen zunächst bei dieser schwierigen Doppelaufgabe, wie es nicht anders zu erwarten ist, viele Fehler (Regelabweichungen von der Tracking-Spur).

Nach einer gewissen Anlernzeit nehmen diese Fehler aber erheblich ab. Unterzieht man nun die beiden Bewegungen im Lernverlauf einer Fourier-Analyse und erstellt Frequenz-Amplitudendiagramme (Leistungsspektren) beider Bewegungen, so kann man feststellen, daß beide Prozesse hinsichtlich der ihnen zugrundeliegenden Sinusschwingungen immer ähnlicher werden, obwohl die Bewegungen äußerlich nach wie vor ihre unterschiedliche Struktur behalten (s. Abb. 10). Man kann dies so interpretieren, daß unser kognitiver Apparat, dessen Aufmerksamkeit sich nur schwer teilen läßt, sich dadurch behilft, daß er die Regulation unterschiedlicher Tätigkeiten über die gleichen bzw. harmonische Sinusfrequenzen synchronisiert.

Es bleibt abschließend festzustellen: Wenn sich das holographische Modell von *Karl Pribram* und allgemein Untersuchungen zur frequenzanalytischen Fähigkeit des

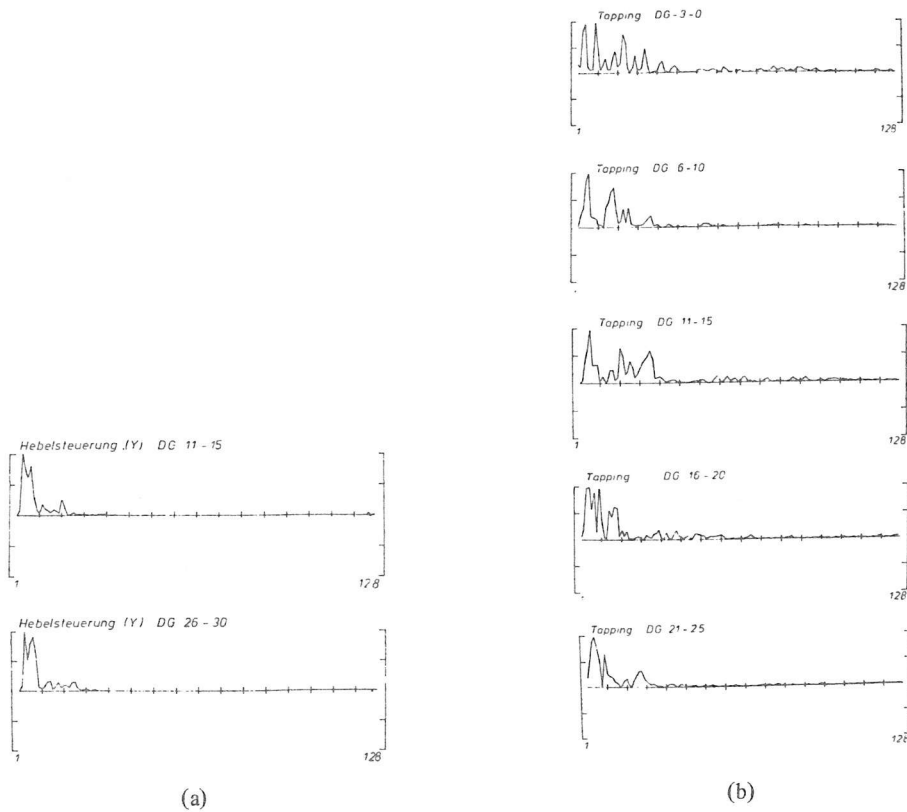


Abb. 10: a) Leistungsspektren einer Tracking-Bewegung in der Mitte und am Ende eines sensorimotorischen Lernprozesses; b) Leistungsspektren einer gleichzeitig ausgeführten Zweitaufgabe (Melodie-Tapping) über den gesamten Verlauf des Lernprozesses (aus: *Wehner und Stadler* 1982).

zentralen Nervensystems weiter durchsetzen – und die zunehmende Zahl an Untersuchungen zu diesem Thema spricht dafür – kommt dies einer Bestätigung der psychophysischen Feldtheorie auf einer neuen Erkenntnisebene gleich. *Wolfgang Köhler* war seiner Zeit zu weit voraus, um diese Folgen seines Denkens selbst miterleben zu können.

Zusammenfassung

Das Hauptproblem der inneren Psychophysik besteht darin, die Diskontinuität des zentralnervösen Geschehens (Alles-oder-Nichts-Gesetz, substrat-gebundene Erregungsleitung) mit der Kontinuität des Psychischen, der Erlebniswelt, in Einklang zu bringen. *Wolfgang Köhler* hat in den 20er Jahren dieses Dilemma durch die Anwendung des phänomenologischen Grundsatzes und des Isomorphie-Postulats in einer *allgemeinen Feldtheorie* des Psychophysischen zu lösen versucht, welche das zentrale Nervensystem als homogenen Leiter annahm, in welchem feldförmige und damit kontinuierliche Prozesse stattfinden. Auf der Suche nach solchen physiologischen Prozessen, die den Gesetzen der Feldphysik gehorchen, entwickelte *Köhler* in den fol-

genden 30 Jahren eine spezielle Feldtheorie psychophysischen Geschehens, die von den durch Membranpolarisation entstehenden Gleichspannungen und elektrotonischen Veränderungen des die Nervenfasern umgebenden Gewebes ausging. Für diese *spezielle Feldtheorie* wurde von Köhler und seinen Mitarbeitern eine Fülle von experimentellen Evidenzen auf psychischem (figurale Nachwirkungen) und zentral-nervösem Niveau (Messung von reizabhängigen Gleichspannungsschwankungen im EEG) beigebracht. Es werden Gründe diskutiert, warum die moderne Psychophysikologie Köhlers Ergebnisse nie akzeptiert hat. Der wichtigste Grund ist sicher, daß zeitgleich mit Köhlers Experimenten die substratspezifische Verarbeitung von Reizinformation in der *rezeptiven Feldorganisation* verschiedener Sinnesgebiete entdeckt wurde. Trotz aller unbestrittenen Erfolge dieses Paradigmas, sind dessen Anomalien bereits heute deutlich sichtbar. Ein neues Paradigma, welches wieder auf den Gedanken der *allgemeinen Feldtheorie* aufbaut, beginnt sich vorzubereiten. *Karl Pribrams holographisches Modell* der Gehirnfunktion, welches eine Abfolge von vertikaler Erregungsausbreitung und horizontaler Bildorganisation beinhaltet, kann als bedeutender Vorreiter dieses Paradigmawechsels angesehen werden. Einige experimentelle Ergebnisse zur Veranschaulichung dieses *neuen Gestaltansatzes* werden vorgetragen.

Summary

A major problem of inner psychophysics is the discrepancy between the discontinuity of central-nervous processes and the continuity of psychic processes and experience. *Wolfgang Köhler* in the twenties resolved this dilemma in his *general field theory* on the basis of isomorphism. The central nervous system was assumed to be a homogeneously conducting field in which continuous processes take place. Later *Köhler* developed his *special field theory*, which postulated electrotonic changes in the tissue surrounding nerve fibers. Much experimental evidence for this theory was provided by *Köhler* et al. on the psychophysical and physiological levels. Why modern psychophysiology never accepted *Köhler's* theory is discussed. One reason may be that simultaneously with the publication of *Köhler's* experiments the theory of *receptive field organization* was developed, which proved very successful in psychophysiological research on the activity of single nerve cells.

A new psychophysiological paradigm is the holographic theory of brain function proposed by *Karl H. Pribram*, based on field theoretical considerations as well as on experimental results of modern neuropsychology. *Pribram's* theory postulates the parallel processing of serial information in the nervous net and image construction by electrochemical fields.

Some experimental results illustrate the psychological relevance of this new *gestalt* hypothesis.

Literatur

- Bauer, K. F.*: Das Leib-Seele-Problem aus der Sicht des Anatomen. Jahrbuch für Psychologie, Psychotherapie und Medizinische Anthropologie 14, 247–260 (1967).
- Békésy, G. v.*: Über die mechanische Frequenzanalyse in der Schnecke verschiedener Tiere. Akustische Zeitschrift 8, 3–11 (1944).
- Békésy, G. v.*: Sensory inhibition. (Princeton 1967).
- Bernstein, N. A.*: The co-ordination and regulation of movements. (Oxford 1967).
- Bethe, A.*: Plastizität und Zentrenlehre. In: *A. Bethe* und *G. v. Bergmann* (Hrsg.): Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 15/2. (Berlin 1931).
- Bischof, N.*: Psychophysik der Raumwahrnehmung. In: *W. Metzger* und *H. Erke* (Hrsg.): Wahrnehmung und Bewußtsein. Handbuch der Psychologie, Bd. 1/I. 307–408 (Göttingen 1966).
- Crabus, H., Stadler, M.*: Über Wahrnehmungsprozesse in den Koordinaten der Netzhaut und des anschaulichen Raumes. Psychologische Forschung 34, 325–342 (1971).
- Fechner, G. T.*: Elemente der Psychophysik. (Leipzig 1860).
- Ganz, L.*: Lateral inhibition and the location of visual contours: An analysis of figural after-effects. Vision Research 4, 465–481 (1964).
- Goldstein, K.*: Der Aufbau des Organismus. (Den Haag 1934).
- Grüsser, O.J., L. A. Hellner, V. Grüsser-Cornehls*: Die Informationsübertragung im afferenten visuellen System. Kybernetik 1, 175–192 (1962).

- Hartline, H. K.: The receptive fields of optic nerve fibers. *American Journal of Physiology* **130**, 690–699 (1940).
- Hartline, H. K., F. Ratliff: Inhibitory interaction of receptor units in the eye of *Limulus*. *Journal of General Physiology* **40**, 357–376 (1957).
- Hubel, D. H., T. N. Wiesel: Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology* **148**, 574–591 (1959).
- Keiler, P.: Zur Kritik der funktionalen und morphologischen Bestimmung von Bewußtseinsprozessen in der Gestalttheorie. Unveröffentlichtes Manuskript (Berlin 1972).
- Keiler, P.: Isomorphie-Konzept und Wertheimer-Problem. Beiträge zu einer historisch-methodologischen Analyse des Köhlerschen Gestaltansatzes. II. Anspruch und Wirklichkeit der Theorie der „Psychophysischen Gestalten“ – funktionale Systeme und Wertheimer-Problem. *Gestalt Theory* **2**, 93–128 (1981).
- Köhler, W.: Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. (Braunschweig/Erlangen 1920, 1924).
- Köhler, W.: Dynamics in psychology. (New York 1940). Dtsch.: Dynamische Zusammenhänge in der Psychologie. (Bern 1958).
- Köhler, W.: Direction of processes in living systems. *Scientific Monthly* **80**, 29–32 (1955).
- Köhler, W.: Psychologie und Naturwissenschaft. Proceedings of the International Congress of Psychology, Brussels 1957. *Acta Psychologica* **15**, 37–50 (1959).
- Köhler, W.: Unsolved problems in the field of figural aftereffects. *Psychological Record* **15**, 63–83 (1965).
- Köhler, W., R. Held: The cortical correlate of pattern vision. *Science* **110**, 414–419 (1949).
- Köhler, W., R. Held, D. N. O'Connell: An investigation of cortical currents. Proceedings of the American Philosophical Society **96**, 290–330 (1952).
- Köhler, W., D. N. O'Connell: Currents of the visual cortex in the cat. *Journal of cellular and comparative Physiology* **49**, Supplement 2, 1–43 (1957).
- Köhler, W., H. Wallach: Figural after-effects. An investigation of visual processes. Proceedings of the American Philosophical Society **88**, 269–357 (1944).
- Lashley, K. S.: Basic neural mechanisms in behavior. *Psychological Review* **37**, 1–24 (1930).
- Lashley, K. S., K. L. Chow, J. Semmes: An examination of the electric field theory of cerebral integration. *Psychological Review* **58**, 123–136 (1951).
- Lewin, K.: *Feldtheorie in den Sozialwissenschaften*. (Bern 1963).
- Lettvin, J. Y., H. R. Maturana, W. S. McCullough, W. H. Pitts: What the frog's eye tells the frog's brain. Proceedings IRE **47**, 1940–1951 (1959).
- Luria, A. R.: *The working Brain*. (New York 1973).
- Malhotra, M. K.: Figurale Nachwirkungen. *Psychologische Forschung* **30**, 1–104 (1966).
- Metzger, W.: Das Experiment in der Psychologie. *Studium Generale* **5**, 142–163 (1952).
- Metzger, W.: Aporien der Psychophysik. In: R. Jung und H. Kornhuber (Hrsg.): *Neurophysiologie und Psychophysik des visuellen Systems*. 435–444. (Berlin/Göttingen/Heidelberg 1961).
- Pribram, K. H.: *Languages of the Brain*. (Englewood Cliffs, N.J. 1971).
- Pribram, K. H., M. Nuwer, R. J. Baron: The holographic hypothesis of memory structure in brain function and perception. In: D. H. Krantz et al. (Hrsg.): *Contemporary developments in mathematical psychology*. Vol. II. Measurement, psychophysics, and neural information processing. 416–457. (San Francisco 1974).
- Pribram, K. H.: Towards a holonomic theory of perception. In: S. Ertel, L. Kemmler und M. Stadler (Hrsg.): *Gestalttheorie in der modernen Psychologie*. 161–186. (Darmstadt 1975).
- Ratliff, F.: Mach bands. Quantitative studies of neural networks in the retina. (San Francisco 1965).
- Rausch, E.: Struktur und Metrik figural-optischer Wahrnehmung. (Frankfurt/M. 1952).
- Sokolov, E. N.: The modeling processes in the CNS of animals and man. *Gagra Symposium* **4**, 183–202 (1963).
- Sperry, R. W., N. Miner: Pattern perception following insertion of mica plates into the visual cortex. *Journal of comparative and physiological Psychology* **48**, 463–469 (1955 a).
- Sperry, R. W., N. Miner, R. E. Myers: Visual pattern perception following subpial slicing and tantalum wire implantations in the visual cortex. *Journal of comparative and physiological Psychology* **48**, 50–58 (1955 b).

-
- Spreng, M., W. D. Keidel*: Neue Möglichkeiten der Untersuchung menschlicher Informationsverarbeitung. *Kybernetik* **1**, 243–249 (1963).
- Stadler, M.*: Figural after-effects as optical illusions? *American Journal of Psychology* **85**, 351–376 (1972).
- Stadler, M., F. Seeger, A. Raeithel*: *Psychologie der Wahrnehmung*. (München 1975).
- Wehner, T., M. Stadler*: Frequenzanalytische Untersuchungen zur kognitiven Steuerung von Mehrfachhandlungen durch Rhythmisierung. *Zeitschrift für Psychologie* **190** (1982).
- Wertheimer, M.*: Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie* **61**, 161–265 (1912).
- Ziehen, T.*: *Leitfaden der Physiologischen Psychologie*. (Jena 1914¹⁰).

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. *M. Stadler*
Universität Bremen
FB 6, Psychologie
2800 Bremen