

Über das Konstruieren von Wirklichkeiten *

Kurzfassung: „Triff eine Unterscheidung!“
(Brown 1972,3)

Das Postulat

Sicher kennen Sie den Bürger Jourdain in Molières Stück „Der Bürger als Edelmann“, der sich als Neureicher in den gebildeten Kreisen der französischen Aristokratie bewegt und großen Lerneifer an den Tag legt. Als eines Tages unter seinen neuen Freunden von Dichtung und Prosa die Rede ist, entdeckt Jourdain zu seinem Erstaunen und mit übergroßer Freude, daß er immer dann, wenn er spricht, *Prosa* spricht. Er ist von dieser Entdeckung überwältigt: „Ich spreche Prosa! Ich habe immer schon Prosa gesprochen! Ich habe mein ganzes Leben lang Prosa gesprochen!“

Eine ähnliche Entdeckung ist vor nicht allzu langer Zeit gemacht worden, es handelte sich dabei aber weder um Dichtung noch um Prosa, — es war die Umwelt, die entdeckt wurde. Ich erinnere mich noch, wie vor vielleicht 10 oder 15 Jahren einige meiner amerikanischen Freunde zu mir gelaufen kamen, voll der Freude und des Erstaunens über ihre gerade gemachte große Entdeckung: „Ich lebe in einer Umwelt! Ich habe immer schon in einer Umwelt gelebt! Ich habe mein ganzes Leben lang in einer Umwelt gelebt!“

Weder Monsieur Jourdain noch meine Freunde haben aber bis heute eine andere Entdeckung gemacht: Wenn Monsieur Jourdain spricht, sei es Prosa oder Dichtung, dann ist er selbst es, der diese erfindet; und immer dann, wenn wir unsere Umwelt wahrnehmen, sind wir selbst es, die diese Umwelt erfinden.

Jede Entdeckung hat ihre leidvolle und ihre erfreuliche Seite: Es bereitet Schmerzen, mit einer neuen Einsicht fertig zu werden, und Freude, diese Einsicht gewonnen zu haben. Ich sehe den einzigen Zweck meines Vortrags darin, für all jene, die diese Entdeckung noch nicht gemacht haben, die Leiden zu minimieren und die Freude zu maximieren, andererseits all jene, die diese Entdeckung bereits gemacht haben, wissen zu lassen, daß sie nicht allein sind. Die Entdeckung, die jeder von uns für sich selbst machen muß, ist im folgenden Postulat ausgedrückt:

Die Umwelt, die wir wahrnehmen, ist unsere Erfindung.

Es liegt nun an mir, diese unerhörte Behauptung zu rechtfertigen. Ich will dies folgendermaßen tun: Zunächst möchte ich Sie einladen, an einem Experiment teilzunehmen; darauf werde ich einen klinischen Fall sowie die Ergebnisse zweier Experimente darstellen. Danach möchte ich eine Interpretation und sodann eine

* Gekürzte Fassung eines Vortrags vom 15. April 1973 zur Eröffnung der "Fourth International Conference on Environmental Design Research" am Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg/Virginia.

stark komprimierte Darstellung der neurophysiologischen Basis dieser Experimente und meines eben formulierten Postulats anbieten. Abschließend möchte ich versuchen, die Bedeutung alles dieses für ästhetische und ethische Überlegungen klarzumachen.

Die Experimente



Bild 1

1 Der blinde Fleck

Halten Sie das Buch mit der rechten Hand, schließen Sie das linke Auge und fixieren Sie den Stern in Bild 1 mit dem rechten Auge. Bewegen Sie sodann das Buch langsam entlang der Sehachse vor und zurück, bis der Abstand erreicht ist (ca. 30 bis 35 cm), bei dem der runde schwarze Fleck verschwindet. Wenn der Stern gut fixiert wird, bleibt der Fleck unsichtbar, auch wenn das Buch langsam parallel zu sich selbst in beliebiger Richtung bewegt wird. Diese lokalisierte Blindheit ist eine direkte Folge des Fehlens von Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen) an dem Punkt der Retina, der „Scheibe“, wo alle Fasern von der lichtempfindlichen Schicht des Auges zusammenkommen und den Sehnerv bilden. Klarerweise kann der schwarze Fleck, wenn er auf den blinden Fleck projiziert wird, nicht gesehen werden. Es ist zu betonen, daß diese lokalisierte Blindheit nicht als schwarzer Fleck in unserem visuellen Feld wahrgenommen wird (einen schwarzen Fleck sehen würde bedeuten, daß man „sieht“), sondern daß diese Blindheit *überhaupt* nicht wahrgenommen wird, d. h. weder als etwas das gegeben ist, noch als etwas, das fehlt: Wir sehen nicht, daß wir nicht sehen.

2 Skotom

Bestimmte gut lokalisierte Okzipitalläsionen im Gehirn (z.B. Verletzungen durch Hochgeschwindigkeitsprojekte) heilen relativ schnell, ohne daß sich der Patient irgendeines bemerkbaren Verlustes seines Sehvermögens bewußt wird. Nach einigen Wochen macht sich jedoch beim Patienten eine gewisse motorische Dysfunktion bemerkbar, z. B. der Verlust der Kontrolle von Arm- oder Beinbewegungen auf der einen oder der anderen Seite und ähnliches. Klinische Tests zeigen jedoch, daß im motorischen System nichts fehlt, daß es aber in einigen Fällen zu einem beträchtlichen Verlust eines großen Teils des visuellen Feldes

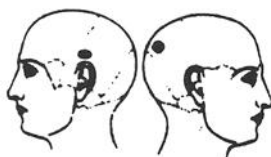
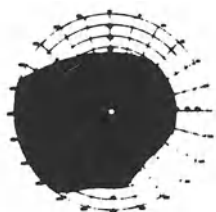


Bild 2

kommt (*Skotom*; vgl. Teuber 1961). Die erfolgreiche Therapie besteht darin, dem Patienten über einen Zeitraum von ein bis zwei Monaten die Augen zu verbinden, bis er die Beherrschung seines motorischen Systems dadurch wiedergewinnt, daß er seine „Aufmerksamkeit“ von (nicht-existent) visuellen Hinweisen auf seine Körperstellung auf jene (normal arbeitenden) Kanäle umstellt, die *direkte* Hinweise auf seine Körperstellung aus (propriozeptiven) Sensoren in Muskeln und Gelenken liefern. Wiederum ist zu betonen, daß das „Fehlen von Wahrnehmung“ *nicht* wahrgenommen und daß die Fähigkeit wahrzunehmen durch sensumotorische Interaktion wieder aufgebaut wird. Dies läßt mich zwei Metaphern formulieren:

- (a) „Wahrnehmen ist Handeln“.
- (b) „Wenn ich nicht sehe, daß ich blind bin, dann bin ich blind; wenn ich aber sehe, daß ich blind bin, dann sehe ich“.

3 Alternanten

Ein einzelnes Wort wird auf ein Tonband gesprochen und das Band wird so dann (ohne Knackgeräusch) zu einer Schleife zusammengeklebt. Das Wort wird daraufhin immer wieder mit eher größer als kleiner Lautstärke abgespielt. Nach ein bis zwei Minuten des Zuhörens (nach 50 bis 150 Wiederholungen) verwandelt sich das bis dahin klar wahrgenommene Wort ganz abrupt in ein anderes bedeutungsvolles und klar wahrgenommenes Wort: in eine „Alternante“. Nach 10 bis 30 Wiederholungen dieser ersten Alternante springt diese plötzlich in eine zweite Alternante um usw. (Naeser/Lilly 1971). Ich gebe im folgenden eine kleine Auswahl der 758 Alternanten, die von etwa 200 Versuchspersonen genannt wurden, denen das Wort COGITATE in der geschilderten Weise immer wieder vorgespielt wurde: AGITATE; ANNOTATE; ARBITRATE; ARTISTRY; BACK AND FORTH; BREVITY; CA D'ETAIT; CANDIDATE; CAN'T YOU SEE; CAN'T YOU STAY; CAPE COD YOU SAY; CARD ESTATE; CARDIO TAPE; CAR DISTRICT; CATCH A TAPE; CAVITATE; CHA CHA CHE; COGITATE; COMPUTATE; CONJUGATE; CONSCIOUS STATE; COUNTER TAPE; COUNT TO TEN; COUNT TO THREE; COUNT YER TAPE; CUT THE STEAK; ENTITY; FANTASY; GOD TO TAKE; GOD YOU SAY; GOT A DATE; GOT YOUR PAY; GOT YOUR TAPE; GRATITUDE; GRAVITY; GUARD THE TIT; GURGITATE; HAD TO TAKE; KINDS OF TAPE; MAJESTY; MARMALADE ...

4 Verstehen (urspr. „wahrnehmen, auffassen, begreifen, etwas können“)

An verschiedenen Stellen der Hörbahn im Gehirn einer Katze werden Mikroelektroden so eingesetzt, daß Ableitungen (Elektroenzephalogramme) sowohl von jenen Nervenzellen möglich sind, die als erste auditorische Stimuli empfangen (Cochlea Nucleus, CN), als auch von anderen bis hin zum auditorischen Cortex (Worden 1959). Die derart präparierte Katze wird in einen Käfig gesetzt, in dem sich ein Futterbehälter befindet, dessen Deckel durch Niederdrücken eines Hebels geöffnet werden kann. Die Verbindung zwischen Hebel und Deckel funktioniert jedoch nur dann, wenn wiederholt ein bestimmter Einzelton (in diesem Falle C₆, d.h. etwa 1000 Hz) präsentiert wird. Die Katze muß lernen, daß C₆ Nahrung „bedeutet“. Die Bilder 3 bis 6 zeigen die Muster der Nerventätigkeit an acht Stellen der Hörbahn in aufsteigender Ordnung und bei vier aufeinanderfolgenden Stadien dieses Lernprozesses (Worden 1959). Das Verhalten der Katze, das mit

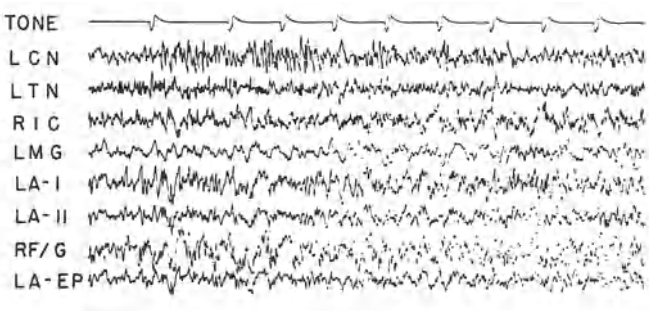


Bild 3

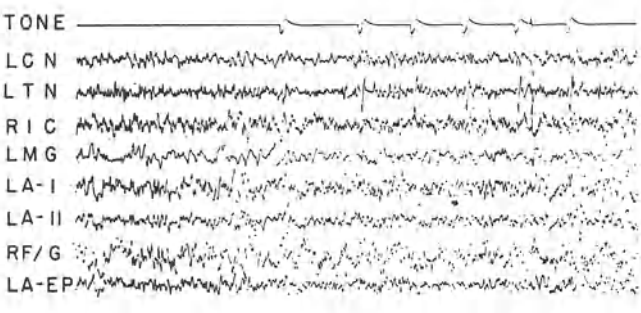


Bild 4

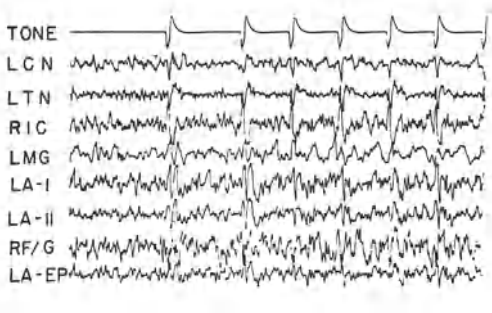


Bild 5

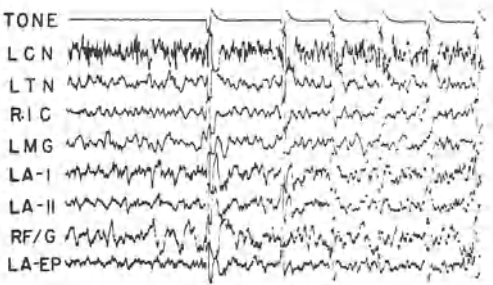


Bild 6

den abgeleiteten neuronalen Aktivitäten verknüpft ist, ist für Bild 3 „zufällige Suche“, für Bild 4 „Prüfung des Hebels“, für Bild 5 „Hebel sofort niedergedrückt“, und für Bild 6 „Katze geht direkt auf den Hebel zu (volles Verstehen)“. Es ist zu betonen, daß kein Ton wahrgenommen wird, solange dieser Ton uninterpretierbar ist (Bilder 3 und 4: reines Geräusch), daß das ganze System aber sofort zu arbeiten beginnt, wenn der erste „Piepton“ zu hören ist (Bilder 5 und 6: Geräusch wird zum Signal), wenn also eine Wahrnehmung verständlich wird, wenn *unsere* Wahrnehmung von „piep“, „piep“, „piep“ in der Wahrnehmung der *Katze* „Nahrung“, „Nahrung“, „Nahrung“ bedeutet.

Interpretation

Ich habe in diesen Experimenten Beispiele zitiert, bei denen wir etwas sehen oder hören, was gar nicht „da“ ist, oder bei denen wir *nicht* sehen oder hören, was „da“ ist, es sei denn, unsere Koordination von Sinneswahrnehmung und Bewegung erlaubt uns, das, was da zu sein scheint, zu „erfassen“. Ich möchte diese Beobachtung noch dadurch bekräftigen, daß ich mein „Prinzip der undifferenzierten Kodierung“ vortrage:

„Die Reaktion einer Nervenzelle enkodiert *nicht* die physikalischen Merkmale des Agens, das ihre Reaktion verursacht. Es wird lediglich das ‚so viel‘ an diesem Punkt meines Körpers enkodiert, nicht aber das ‚was‘.“

Betrachten wir z.B. eine lichtempfindliche Rezeptorzelle in der Retina, ein „Stäbchen“, das die von einer fernen Quelle ausgehende elektromagnetische Strahlung absorbiert. Diese Absorption verursacht eine Veränderung des elektrochemischen Potentials des Stäbchens, die schließlich eine periodische elektrische Entladung in Zellen auf einer höheren Ebene des postretinalen Netzwerks verursacht (s.u.), und zwar mit einer Periodizität, die der Intensität der absorbierten Strahlung proportional ist, die aber kein Anzeichen dafür enthält, daß es elektromagnetische Strahlung war, die das Stäbchen zu feuern veranlaßte. Das gleiche gilt für jeden beliebrigen anderen sensorischen Rezeptor, die Geschmacksknospen, die Druckrezeptoren und alle die anderen Rezeptoren, die mit den Sinneswahrnehmungen des Geruchs, der Wärme und Kälte, der Klänge und Geräusche usw. verbunden sind: Sie sind alle „blind“, was die *Qualität* ihrer Stimulierung angeht und reagieren nur auf deren *Quantität*. Auch wenn wir dies überraschend finden, sollte es uns doch nicht verwundern: „da draußen“ gibt es nämlich in der Tat weder Licht noch Farben, sondern lediglich elektromagnetische Wellen; „da draußen“ gibt es weder Klänge noch Musik, sondern lediglich periodische Druckwellen der Luft; „da draußen“ gibt es keine Wärme und keine Kälte, sondern nur bewegte Moleküle mit größerer oder geringerer durchschnittlicher kinetischer Energie usw. Und schließlich gibt es „da draußen“ sicherlich keinen Schmerz. Da nun die physikalischen Eigenschaften des Stimulus – seine *Qualität* – von der Nervenaktivität nicht enkodiert werden, stellt sich die fundamentale Frage, wie unser Gehirn denn die überwältigende Vielfalt dieser farbenprächtigen Welt hervorzaubern kann, wie wir sie in jedem Augenblick unseres bewußten Lebens erfahren, – und manchmal sogar, wenn wir schlafen und träumen. Dies ist das „Problem der Kognition“, die Suche nach einer Erklärung der kognitiven Prozesse. Die Art, in der eine Frage gestellt wird, bestimmt die Art, in der sie beantwortet werden kann. Es liegt also nun an mir, das „Problem der Kognition“ auf solche Weise zu formulieren, daß

die theoretischen Werkzeuge eingesetzt werden können, über die wir heute verfügen. Zu diesem Zwecke möchte ich „Kognition“ auf folgende Weise umschreiben (→):

KOGNITION → Errechnung einer Realität.

Damit provoziere ich sicherlich einen Sturm entrüsteter Einwände. Zunächst scheint es, als ob ich den unbekannten Begriff „Kognition“ durch drei andere Begriffe ersetze, wovon zwei, „Errechnung“ und „Realität“, noch weitaus obskurer sind als mein Definiendum, während das einzige bestimmte Wort, das ich gebrauche, der unbestimmte Artikel „eine“ ist. Darüber hinaus legt der Gebrauch des unbestimmten Artikels die lächerliche Vorstellung nahe, daß es noch andere Realitäten neben „der“ einen und einzigen Realität, nämlich unserer geliebten eigenen Umwelt gibt; und schließlich scheint es, als ob ich durch den Gebrauch des Ausdrucks „Errechnung“ ausdrücken möchte, daß alles, von meiner Armbanduhr bis zu den Milchstraßensystemen des Universums, bloß errechnet wird und nicht schlicht „da“ ist. Unerhört!

Lassen sie mich diese Einwände einen nach dem anderen abhandeln. Zunächst möchte ich das semantische Unbehagen beseitigen, das Ausdrücke wie „Rechnen“ oder „Errechnung“ in einer Versammlung von Damen und Herren verursachen müssen, die stärker den Geisteswissenschaften als den Naturwissenschaften zuneigen.

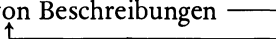
Das Wort „rechnen“ kommt von einem im Hochdeutschen nicht mehr vorhandenen Adjektiv, das „ordentlich, genau“ bedeutet. „Rechnen“ heißt also ursprünglich „in Ordnung bringen, ordnen“. Dazu gehört u.a. auch „Rechenschaft“ und „recht“. Es braucht damit also keineswegs auf numerische Größen Bezug genommen werden.

Ich möchte den Begriff des „Rechnens“ in diesem sehr allgemeinen Sinn verwenden, um jede (nicht notwendig numerische) *Operation* zu benennen, die beobachtete physikalische Entitäten („Objekte“) transformiert, modifiziert, ordnet, neu anordnet usw. So werde ich z.B. die einfache Permutation der drei Buchstaben A,B,C zu C,A,B, zu einer Anordnung also, in der der letzte Buchstabe an die erste Stelle rückt, als „Rechnen“ bezeichnen. In ähnlicher Weise nenne ich die Operation eine Errechnung, die die Kommas zwischen den Buchstaben beseitigt: CAB, in gleicher Weise die semantische Transformation, die CAB zu TAXI verändert usw. Als nächstes möchte ich den Gebrauch des unbestimmten Artikels im Ausdruck „eine Realität“ verteidigen. Ich könnte mich hier natürlich hinter dem logischen Argument verschanzen, daß ich mit meiner Lösung des allgemeinen Falles, wie er durch das „ein“ angedeutet wird, auch jeden speziellen Fall, wie er durch den Gebrauch des „die“ ausgedrückt wird, gelöst habe. Meine Absicht ist aber viel radikaler. Es gibt eine tiefe Kluft zwischen dem „die“-Denken und dem „eine“-Denken, wofür wiederum die Begriffe „Bestätigung“ bzw. „Korrelation“ jeweils als erklärende Paradigmen der Wahrnehmung gelten. Die „die“-Auffassung meint: Meine Wahrnehmung der Berührung ist eine *Bestätigung* meiner visuellen Wahrnehmung, daß es einen Tisch *gibt*. Die „eine“-Auffassung meint: Meine Wahrnehmung der Berührung in *Korrelation* mit meiner visuellen Sinneswahrnehmung *erzeugt* eine Erfahrung, die ich als „Hier ist ein Tisch“ beschreiben kann. Ich lehne die „die“-Position aus epistemologischen Gründen ab, denn auf diese Weise wird das ganze Problem der Kognition einfach in den blinden Fleck des Erkennens abgedrängt: Man merkt nicht einmal mehr, daß man das Problem der Kognition nicht sieht.

Schließlich könnte man durchaus zu Recht darauf hinweisen, daß kognitive Prozesse weder Armbanduhren noch Milchstraßensysteme errechnen, sondern im besten Fall *Beschreibungen* derartiger Entitäten. Diesem Einwand will ich stattgeben, und ich ersetze daher meine frühere Umschreibung durch die folgende:

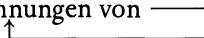
KOGNITION → Errechnung von Beschreibungen einer Realität .

Neurophysiologen sagen uns jedoch (Maturana 1970a), daß eine auf einer bestimmten Ebene neuronaler Aktivität errechnete Beschreibung, etwa ein auf die Retina projiziertes Bild, auf einer höheren Ebene erneut bearbeitet wird, danach wieder usw., wobei bestimmte motorische Aktivitäten von einem Beobachter als „terminale Beschreibungen“ angesehen werden können, wie z.B. die folgende Äußerung: „Hier ist ein Tisch“. Ich habe daher meine Umschreibung erneut zu modifizieren, so daß sie nun folgendermaßen lautet:

KOGNITION → Errechnung von Beschreibungen 

wobei der zurückführende Pfeil ausdrücken soll, daß es sich hier um eine infinite Rekursion von Beschreibungen von Beschreibungen.. usw. handelt.

Diese Formulierung hat den Vorteil, daß eine Unbekannte, nämlich „Realität“, mit Erfolg ausgeschaltet worden ist. Realität erscheint nur mehr implizit als die Aktivität rekursiver Beschreibungen. Schließlich können wir auf die Tatsache zurückgreifen, daß die Errechnung von Beschreibungen natürlich nichts anderes ist als eine Errechnung. Es ergibt sich somit:

KOGNITION → Errechnungen von 

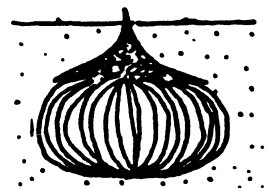
Ich fasse zusammen: Mein Vorschlag besteht darin, kognitive Prozesse als nie endende rekursive Prozesse des (Er-)Rechnens aufzufassen. Ich hoffe, daß ich nun mit der folgenden *tour de force* durch die Neurophysiologie diese Interpretation verständlich machen kann.

Neurophysiologie

1 Evolution

Um volles Verständnis dafür zu erreichen, daß das Prinzip der rekursiven Errechnung in der Tat allen kognitiven Prozessen zugrunde liegt – ja sogar dem Leben schlechthin, wie mir einer der fortgeschrittensten Denker der Biologie versichert (Maturana 1970b) –, kann es hilfreich sein, für einen Augenblick auf die elementarsten – oder wie die Evolutionstheoretiker sagen würden, auf sehr „frühe“ – Manifestationen dieses Prinzips zurückzugehen. Es handelt sich dabei um die „unabhängigen Effektoren“ bzw. unabhängigen sensumotorischen Einheiten, wie sie sich über die Oberflächen von Einzellern und Vielzellern verteilt finden (Bild 7).

Bild 7



Der dreieckige Kopf dieser Einheit, der mit seiner Spitze aus der Oberfläche hervorwächst, ist der sensorische Teil, der zwiebelartige Körper ist der kontraktile motorische Teil. Eine Veränderung der chemischen Konzentration eines Agens in der unmittelbaren Nachbarschaft der sensiblen Spitze, für die das Agens „wahrnehmbar“ ist, verursacht die sofortige Kontraktion der Einheit. Die daraus resultierende Bewegung durch eine Veränderung der Gestalt des Lebewesens oder seiner örtlichen Lage kann ihrerseits wahrnehmbare Veränderungen der Konzentration des Agens in der Nachbarschaft solcher Einheiten erzeugen, die wiederum deren sofortige Kontraktion verursachen... usw. Es ergibt sich daher die folgende Rekursion:

→ Veränderung der Sinneswahrnehmung → Veränderung der Gestalt

Die Trennung der Orte der Sinneswahrnehmung von denen der Handlung scheint der nächste evolutionäre Schritt gewesen zu sein (Bild 8).

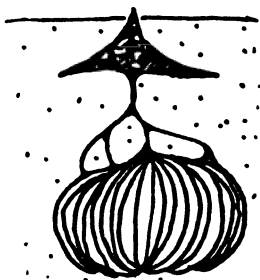


Bild 8

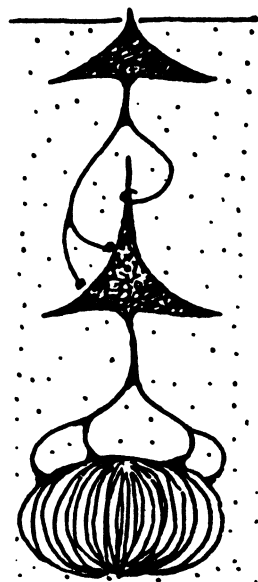


Bild 9

Die sensorischen und die motorischen Organe sind nun durch dünne Fasern miteinander verbunden, die „Axone“ (im allgemeinen degenerierte Muskelfasern, die ihre Kontraktilität verloren haben), die die Einwirkungen auf die Sensoren an die zugehörigen Effektoren übermitteln und somit den Begriff des „Signals“ entstehen lassen: *hier* wird gesehen, *dort* wird entsprechend gehandelt. Der entscheidende Schritt in der Evolution der komplexen Organisation des Zentralnervensystems (ZNS) der Säugetiere scheint jedoch das Auftreten eines „internuntialen Neurons“ gewesen zu sein, einer Zelle, die zwischen der sensorischen und der motorischen Einheit gelagert ist (Bild 9).

Es handelt sich dabei im allgemeinen um eine sensorische Zelle, die jedoch so spezialisiert ist, daß sie nur auf ein universales „Agens“ reagiert, nämlich auf die elektrische Aktivität der afferenten Axone, die in ihrer Nachbarschaft enden. Da

ihre gegenwärtige Aktivität ihre spätere Reaktionsfähigkeit beeinflussen kann, führt diese Zelle das Element des Rechnens in das Reich der Lebewesen ein und ermöglicht so den entsprechenden Organismen die erstaunliche Vielfalt nicht-trivialer Verhaltensweisen. Ist einmal der genetische Kode zur Herstellung des internuntialen Neurons entwickelt, dann bedeutet es in der Tat nur mehr geringen Aufwand, den genetischen Befehl „Wiederholen“ hinzuzufügen. Ich glaube daher, daß nun leicht einzusehen ist, warum sich diese Neurone entlang zusätzlicher vertikaler Schichten mit zunehmenden horizontalen Verbindungen so schnell vermehrt haben, um jene komplexen ineinander verknüpften Strukturen zu bilden, die wir „Gehirne“ nennen.

2 Das Neuron

Unser Gehirn besteht aus mehr als zehn Milliarden „Neuronen“, höchst spezialisierten Einzelzellen mit drei anatomisch verschiedenen Merkmalen (Bild 10):

- (a) den „Dendriten“, das sind zweigähnliche Verästelungen, die sich nach oben und seitwärts ausdehnen;
- (b) dem „Zelleib“, einer Knolle im Zentrum, die den Zellkern enthält; und
- (c) dem „Axon“, der glatten Faser, die sich nach unten erstreckt.

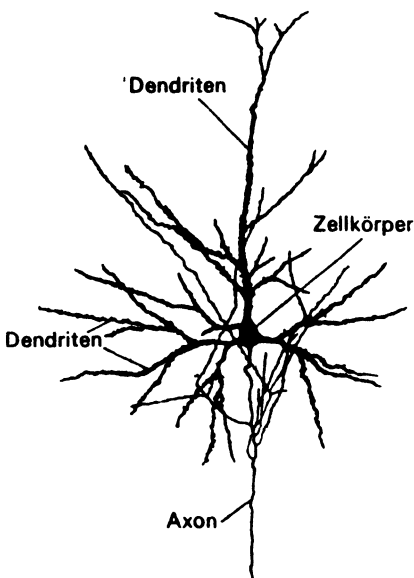


Bild 10

Die einzelnen Ausläufer des Axons enden auf den Dendriten eines anderen (manchmal aber auch (rekursiv) desselben) Neurons. Die Membran, die den Zelleib einhüllt, bildet auch die röhrenartige Scheide für die Dendriten und Axone und ist verantwortlich dafür, daß das Zellinnere gegenüber seiner Umgebung eine elektrische Ladung von etwa einem Zehntel Volt aufweist. Wird diese Ladung in der Region der Dendriten hinreichend gestört, dann „feuert“ das Neuron und schickt diese Störung entlang seiner Axone an dessen Endpunkte, die Synapsen.

3 Die Übertragung

Da derartige Störeinwirkungen elektrischer Art sind, können sie von Mikrosonden aufgenommen, verstärkt und aufgezeichnet werden. Bild 11 zeigt drei Beispiele periodischer Entladungen eines Druckrezeptors, der ständig stimuliert wird, wobei die niedrigere Frequenz einem schwachen, die hohe Frequenz einem starken Stimulus entspricht. Die Größe der Entladung ist klarerweise überall dieselbe, wobei die Impulsfrequenz die Stimulusintensität und nur diese repräsentiert.

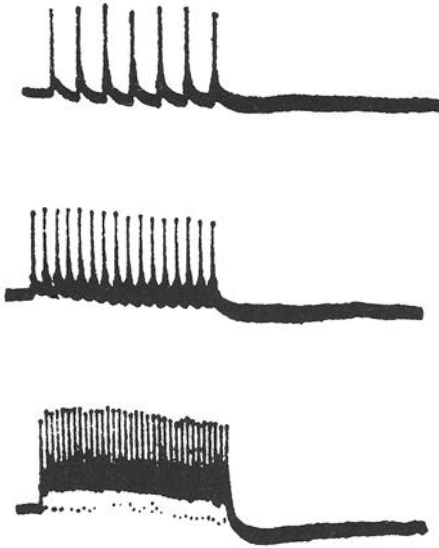


Bild 11

4 Die Synapse

Bild 12 zeigt eine synaptische Verbindung.

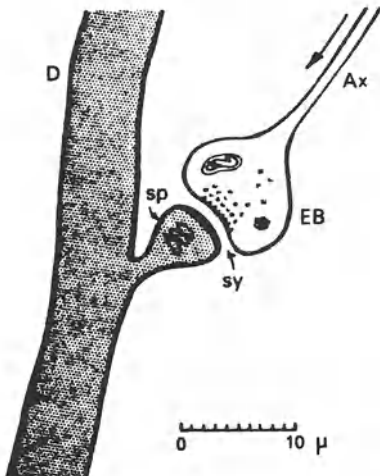


Bild 12

Das afferente Axon (Ax), entlang dessen die Impulse sich ausbreiten, endet in einer Endknolle (EB), die vom Ast (sp) eines Dendriten (D) des Zielneurons durch einen winzigen Spalt (sy), den „synaptischen Spalt“, getrennt ist. (Die zahlreichen Äste dieser Art bewirken das stachelige Aussehen der Dendriten in Bild 10.) Die chemische Zusammensetzung der „Transmittersubstanzen“, die den synaptischen Spalt ausfüllen, ist entscheidend für die Wirkung, die ein ankommender Impuls auf das Neuron ausüben kann: Unter bestimmten Umständen kann der Impuls einen „inhibitorischen Effekt“ haben (Aufhebung eines anderen gleichzeitig ankommenden Impulses), unter anderen einen „Bahnungseffekt“ (Verstärkung eines anderen Impulses, der das Neuron aktiviert). Der synaptische Spalt kann folglich als die „Mikroumwelt“ einer sensiblen Spitze, nämlich des Dendritenasts, angesehen werden, und mit dieser Interpretation vor Augen können wir die Sensitivität des Zentralnervensystems gegenüber Veränderungen der *inneren* Umwelt (der Gesamtsumme aller Mikroumwelten) mit seiner Sensitivität gegenüber Veränderungen der *äußeren* Umwelt (das heißt aller sensorischen Rezeptoren) vergleichen. Da es lediglich einige 100 Millionen sensorische Rezeptoren und etwa 10 000 Milliarden Synapsen in unserem Nervensystem gibt, sind wir gegenüber Veränderungen in unserer inneren Umwelt 100 000mal stärker empfindlich als gegenüber Veränderungen in unserer äußeren Umwelt.

5 Der Cortex

Um nun zumindest eine gewisse Vorstellung von der Organisation der gesamten Maschinerie zu gewinnen, die alle unsere perzeptuellen, intellektuellen und emotionalen Erfahrungen errechnet, habe ich Bild 13 (Sholl 1956) beigegeben, das einen vergrößerten Schnitt von etwa zwei Quadratmillimetern aus dem Cortex einer Katze zeigt, der mit Hilfe einer besonderen Technik so gefärbt worden ist, daß lediglich die Zellkörper und Dendriten von etwa 1 % aller vorhandenen Neuronen erkennbar sind. Auch wenn man sich die vielen Querverbindungen zwischen diesen Neuronen, wie sie durch die (hier unsichtbaren) Axone hergestellt werden,



Bild 13

ebenso bloß vorstellen muß wie die Packungsdichte, die hundertmal größer ist als die gezeigte, dürfte sich daraus die Rechenmächtigkeit allein dieses in der Tat äußerst kleinen Teils des Gehirns errahnen lassen.

6 *Descartes*

Dieses Bild ist natürlich weit entfernt von dem, das man sich vor etwa dreihundert Jahren gemacht hat (Descartes 1664): „Wenn das Feuer A dem Fuß B nahekommt (Bild 14), dann haben die Teilchen dieses Feuers, die sich, wie wir wissen, mit großer Geschwindigkeit bewegen, die Kraft, jenen Teil der Haut des Fußes, den sie berühren, zu bewegen; auf diese Weise ziehen sie an dem dünnen Faden c, den wir an den Wurzeln der Zehen und an den Nerven angebunden sehen; gleichzeitig öffnen sie den Zugang zu der Pore d und e, wo dieser dünne Faden endet, so wie das Ziehen an dem einen Ende einer Kordel die Glocke läuten läßt, die an deren anderem Ende hängt. Das nun so bewirkte Öffnen der Pore bzw. des kleinen Ausgangs d und e läßt die Lebensgeister des Hohlraums F austreten und fortströmen, zum Teil in Muskeln, die den Fuß vom Feuer zurückziehen helfen, zum Teil in andere, die die Augen und den Kopf drehen, um das Feuer anzusehen, und zum Teil in wieder andere, die die Hände darauf hinbewegen und den ganzen Körper neigen, um den Fuß zu schützen.“

Man bedenke, daß einige unserer heutigen Behavioristen immer noch diese Auffassung vertreten (Skinner 1971), lediglich mit dem Unterschied, daß Descartes' „Lebensgeister“ inzwischen verlorengegangen sind.



Bild 14

7 *Die Errechnung*

Die Retina der Wirbeltiere und das damit verbundene Nervengewebe sind ein typischer Fall neuronaler Errechnung. Bild 15 bietet eine schematische Darstellung einer Säugetierretina und ihres postretinalen Netzwerks.

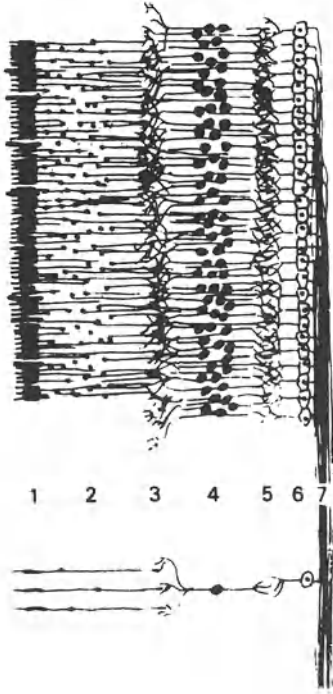


Bild 15

Die mit # 1 bezeichnete Schicht zeigt die Anordnung von Stäbchen und Zapfen, Schicht # 2 die Körper und Kerne dieser Zellen. Schicht # 3 zeigt die Region, in der die Axone der Rezeptoren mit den dendritischen Verzweigungen der „Bipolarzellen“ Synapsen bilden, die ihrerseits in der Schicht # 5 mit den Dendriten der „Ganglienzellen“ (# 6) Synapsen bilden, deren Aktivität in noch tieferliegende Schichten des Gehirns über jene Axone übermittelt wird, die zum Sehnerv (# 7) gebündelt sind. Rechenprozesse finden innerhalb der beiden Schichten # 3 und # 5 statt, das heißt dort, wo sich die Synapsen befinden. Wie Maturana/Uribe/Frenk (1968) gezeigt haben, werden eben dort die Sinneswahrnehmungen der Farbe sowie einige Formmerkmale errechnet.

Zur Formberechnung: Betrachten wir das zweischichtige periodische Netzwerk in Bild 16, in dem die obere Schicht Rezeptorzellen enthält, die „licht“-

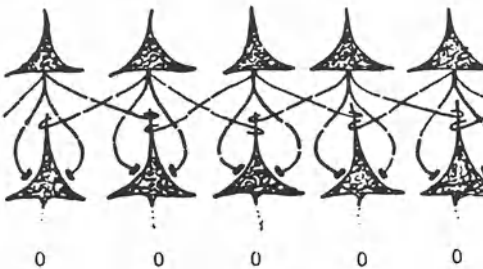


Bild 16

empfindlich sind. Jeder dieser Rezeptoren ist mit drei Neuronen in der darunter liegenden (rechnenden) Schicht verbunden, wobei zwei exzitatorische Synapsen auf dem einen direkt darunter liegenden Neuron enden (symbolisiert durch die dem Zellkörper angefügten Knöpfe), und eine inhibitorische Synapse (symbolisiert durch eine Schleife um die Spitze) die beiden anderen Neurone, eines links und eines rechts, erfaßt. Es ist klar, daß die rechnende Schicht nicht reagieren wird, wenn Licht einheitlich auf die ganze rezeptive Schicht projiziert wird, denn die beiden exzitatorischen Stimuli eines Rechnerneurons werden durch die inhibitorischen Signale, die von den beiden lateralen Rezeptoren kommen, aufgehoben. Diese Nullreaktion wird unter der stärksten wie auch unter der schwächsten Stimulierung ebenso wie unter langsamer oder rascher Veränderung der Belichtung immer gleich erfolgen. Es stellt sich nun die berechtigte Frage „Warum dieser komplexe Apparat, der nichts tut?“

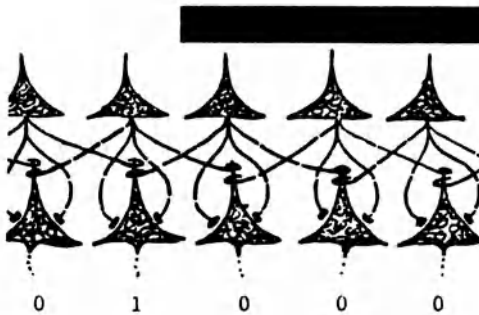


Bild 17

Nehmen wir nun aber Bild 17, in dem der Bahn des Lichts, das auf die Schicht der Rezeptoren fällt, ein Hindernis entgegengesetzt wird. Wiederum werden alle Neuronen der unteren Schicht ruhig bleiben, ausgenommen das eine Neuron am Rande des Hindernisses, denn es erhält zwei exzitatorische Signale vom darüberliegenden Rezeptor, aber nur *ein* inhibitorisches Signal von dem links davon liegenden Sensor. Wir verstehen nun die wichtige Funktion dieses Netzes, denn es errechnet jede räumliche *Veränderung* des visuellen Feldes dieses „Auges“, und zwar unabhängig von der Intensität des umgebenden Lichts und seiner zeitlichen Schwankungen, und unabhängig von Ort und Ausdehnung des Hindernisses. Auch wenn alle Operationen, die diese Rechenprozesse ausmachen, elementarer Art sind, erlaubt uns die Organisation dieser Operationen, ein Prinzip von beträchtlicher Tragweite zu erkennen, nämlich jenes der Errechnung von „abstrakten“ Vorstellungen, in diesem Fall der Vorstellung „Kante“. Ich hoffe, daß dieses einfache Beispiel ausreicht, um die Möglichkeit der Generalisierung dieses Prinzips zu veranschaulichen, und zwar dahingehend, daß Errechnung sich zumindest auf zwei Ebenen zeigt, nämlich (a) in den tatsächlich ausgeführten Operationen, und (b) in der Organisation dieser Operationen, wie sie hier durch die Struktur des Nervennetzes dargestellt wird. In der Computersprache würde man bei (a) von „Operationen“ sprechen, bei (b) jedoch von einem „Programm“. Wie wir später noch sehen werden, können in „biologischen Rechnern“ die Programme selbst zum Gegenstand von Rechenprozessen werden. Wir erreichen so „Metaprogramme“, „Meta-Metaprogramme“... usw. Und all das ist natürlich die Folge der rekursiven Organisation dieser Systeme.

8 Geschlossenheit

Vielleicht haben wir nun durch die Konzentration unserer Aufmerksamkeit auf die neurophysiologischen Einzelteile den Organismus als funktionierende Ganzheit aus den Augen verloren. In Bild 18 habe ich daher die Einzelstücke wieder durch ihre funktionalen Beziehungen verbunden.

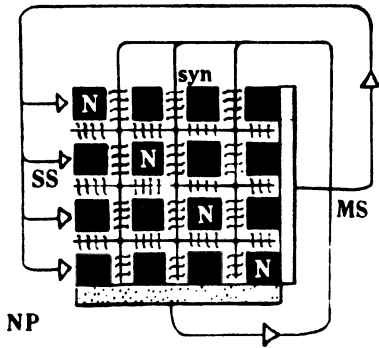


Bild 18

Die mit N bezeichneten schwarzen Quadrate stellen Neuronenbündel dar, die mit Neuronen anderer Bündel über die (synaptischen) Spalte, die durch die Zwischenräume zwischen den Quadraten angezeigt sein sollen, Synapsen bilden. Die sensorische Oberfläche (SS) des Organismus befindet sich auf der linken Seite, seine motorische Oberfläche (MS) auf der rechten, und die Hirnanhangdrüse (Hypophyse, NP), d.h. die stark innervierte Steuerdrüse für das gesamte endokrine System, wird durch den gepunkteten Streifen am unteren Rand des Bildes dargestellt. Die Nervenimpulse, die horizontal (von links nach rechts) laufen, wirken schließlich auf die motorische Oberfläche (MS), deren Veränderungen (Bewegungen) unmittelbar wiederum von der sensorischen Oberfläche (SS) wahrgenommen werden, wie dies durch die „äußere“ Bahn in Richtung der Pfeile angedeutet wird. Die vertikal laufenden Impulse (von oben nach unten) stimulieren die Hirnanhangdrüse, deren Aktivität Steroide in die synaptischen Spalte entläßt, was durch die geschwungenen Linien in den Zwischenräumen ausgedrückt sein soll. Sie modifizieren dadurch den *modus operandi* aller synaptischen Verbindungen, und folglich den *modus operandi* des gesamten Systems. Besonders hervorzuheben ist die doppelte Schließung des Systems, das nun rekursiv nicht nur das verarbeitet, was es „sieht“, sondern auch die Tätigkeit seiner eigenen Organe. Um diese zweifache Schließung noch deutlicher zu machen, schlage ich vor, die Zeichnung des Bildes 18 so um ihre beiden kreissymmetrischen Achsen zu wickeln, daß die künstlichen Grenzen verschwinden und ein Torus, wie in Bild 19, entsteht.

Hier wird der „synaptische Spalt“ zwischen den motorischen und den sensorischen Oberflächen durch den gestreiften Meridian in der Mitte vorne, die Hirnanhangdrüse durch den gepunkteten Äquator abgebildet. Dies zeigt, so meine ich, *in nuce* die funktionale Organisation eines lebenden Organismus. Die Rechenprozesse innerhalb dieses Torus unterliegen einer nicht-trivialen Einschränkung, die durch das Postulat der Kognitiven Homöostase formuliert wird:

„Das Nervensystem ist so organisiert (bzw. organisiert sich selbst so), daß es eine stabile Realität errechnet.“

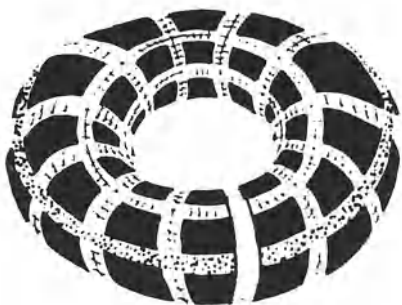


Bild 19

Dieses Postulat fordert „Autonomie“, das heißt „Selbst-Regelung“, für jeden lebenden Organismus. Da die semantische Struktur von Substantiven mit dem Präfix „selbst-“ transparenter wird, wenn dieses Präfix durch das Substantiv ersetzt wird, wird der Ausdruck „Autonomie“ synonym mit dem Ausdruck „Regelung der Regelung“. Und genau dies leistet der doppelt geschlossene, rekursiv rechnende Torus: Er regelt seine eigene Regelung.

Bedeutung

Es mag in einer Zeit wie der unseren seltsam anmuten, Autonomie zu fordern, denn Autonomie bedeutet Verantwortung: Wenn ich selbst der einzige bin, der entscheidet, wie ich handle, dann bin ich für meine Handlungen verantwortlich. Da die Regel eines der populärsten Spiele, das man heute spielt, darin besteht, jemand anderen für *meine* Handlungen verantwortlich zu machen – der Name dieses Spiels lautet „Heteronomie“ –, führen meine Überlegungen, soweit ich sehe, zu einer höchst unpopulären Auffassung. Ein Verfahren, diese Auffassung unter den Teppich zu kehren, besteht darin, sie bloß als einen erneuten Versuch der Rettung des „Solipsismus“ zu betrachten, d.h. der Ansicht, daß diese Welt nur in meiner Vorstellung existiert, und daß die einzige Realität nur das sich etwas vorstellende „Ich“ ist. In der Tat habe ich genau dieses vorhin festgestellt, ich habe dabei jedoch nur von einem einzigen Organismus gesprochen. Die Situation ist völlig anders, wenn es zwei davon gibt, wie ich mit Hilfe des in Bild 20 gezeichneten Herrn mit der Melone auf dem Kopf demonstrieren möchte.

Dieser Herr besteht darauf, daß er die einzige Realität ist, und daß alles übrige nur in seiner Vorstellung existiert. Auch dieser Herr kann jedoch nicht leugnen, daß das von ihm imaginierte Universum mit Erscheinungen bevölkert ist, die ihm selbst durchaus nicht unähnlich sind. Er muß folglich zugeben, daß auch diese Erscheinungen selbst darauf bestehen könnten, daß *sie* die einzige Realität sind, und daß alles übrige lediglich ein Produkt ihrer Einbildung ist. In diesem Falle aber ist das von ihnen imaginierte Universum mit Erscheinungen bevölkert, zu denen auch *er*, d.h. der Herr mit der Melone auf dem Kopf, gehören muß. Nach dem Prinzip der Relativität, das eine Hypothese ablehnt, die für zwei Phänomene zusammen nicht gilt, obwohl sie für jedes der beiden Phänomene allein zutrifft – Erdbewohner und Venusbewohner mögen beide darin übereinstimmen, daß sie behaupten, der Mittelpunkt des Universums zu sein, ihr Anspruch zerfällt aber, wenn sie aufeinandertreffen –, löst sich auch der solipsistische Standpunkt auf, sobald ich neben mir noch einen weiteren autonomen Organismus erfinde. Da das

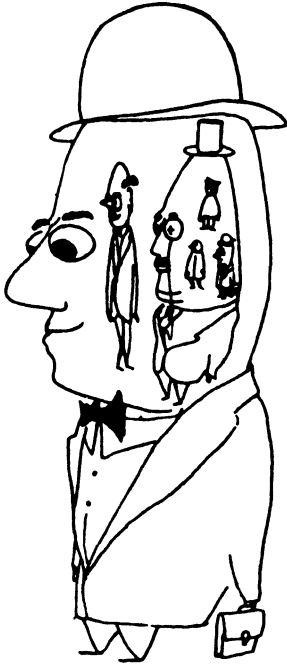


Bild 20

Prinzip der Relativität aber logisch nicht notwendig ist, noch auch eine Behauptung darstellt, die als wahr oder falsch zu erweisen ist, ist hier besonders hervorzuheben, daß der entscheidende Punkt, um den es geht, darin liegt, daß es mir freisteht, dieses Prinzip anzunehmen oder zu verwerfen. Wenn ich es ablehne, dann bin ich der Mittelpunkt des Universums, meine Wirklichkeit sind meine Träume und meine Alpträume, meine Sprache ist ein Monolog, meine Logik eine Monologik. Wenn ich das Prinzip akzeptiere, kann weder ich noch auch ein anderer den Mittelpunkt des Universums bilden. Es muß wie im heliozentrischen System etwas Drittes geben, das den zentralen Bezugspunkt bildet. Dies ist die Relation zwischen Du und Ich, und diese Relation heißt IDENTITÄT:

Realität = Gemeinschaft.

Worin liegen nun die Konsequenzen alles dieses für Ethik und Ästhetik?

Der ethische Imperativ: Handle stets so, daß die Anzahl der Wahlmöglichkeiten größer wird.

Der ästhetische Imperativ: Willst du sehen, so lerne zu handeln.

