



Wie entsteht die Welt im Kopf?

Eines der zentralen Rätsel der Neurowissenschaften ist das so genannte Bindungsproblem: Die Frage, wie es das Gehirn schafft, das Bündel jener Informationen, die über die verschiedenen Sinnesorgane einströmen, wieder zu einem erlebten Ganzen zusammen zu setzen. Der französische Philosoph Rene Descartes postulierte bereits im 17. Jahrhundert eine Lösung für dieses Problem. Nach heutigem Wissen ist sein Ansatz aber falsch. Aktuelle neurobiologische Experimente weisen darauf hin, dass sich das Gehirn eines anderen Lösungsmechanismus bedient, der bereits in den 1950er Jahren unter dem Titel "Synchronisationshypothese" Eingang in die Fachliteratur fand.

Um die Orientierung in der Umwelt zu gewährleisten, muss das Gehirn (hinreichend) verlässliche Informationen aus der Welt extrahieren und diese in Verhalten umsetzen. In der Regel sind es fünf Eigenschaften von Umweltreizen, die für das Gehirn von grundlegender Bedeutung sind.

Das ist erstens die *Modalität* eines Reizes (Sehen, Schmecken, Hören etc.), zweitens dessen *Qualität* (beim Sehen z.B. Farbe, Helligkeit etc.) sowie dessen *Intensität*. Hinzukommt die *Zeitstruktur* des Reizes und in vielen Fällen auch dessen *Ort*, etwa im so genannten Hör- oder Sehraum.

Die Codierung von Information

Hier stellt sich die Frage, wie das Gehirn diese grundlegenden Reizeigenschaften in die Sprache der Neuronen übersetzt, so dass die erhaltenen Informationen bestehen bleiben. Die Codierung der Intensität wird durch Entladungsmuster einzelner Nervenzellen, so genannte Depolarisationen, zustande gebracht.

Hier gilt die Regel: Je intensiver ein Reiz, desto höher die Entladungsfrequenz der betroffenen Nervenzellen. Es ist möglich, solche Muster mittels experimenteller Anordnungen als hörbare Signale an Messgeräten wahrnehmbar zu machen.

Sind Neuronen aufgrund eines einströmenden Reizes erregt, dann reagieren diese mit umso rascheren "Click Click"-Signalen je intensiver der Reiz ist - ganz wie bei einem Geigerzähler.

Das Prinzip des Verarbeitungsortes

Bei der Codierung von Sinnes-Modalität und -Qualität ist

das anders. Hier gilt das so genannte "*Prinzip des Verarbeitungsortes*": Der Ort, an dem eine bestimmte Erregung verarbeitet wird, bestimmt dessen subjektives Empfinden.

Das bedeutet, dass das Gehirn dasjenige als "Sehen" *interpretiert*, was jene Areale der Hirnrinde erregt, die für die visuelle Informationsverarbeitung zuständig sind. Dementsprechend wird das als "Hören" interpretiert, was die auditorischen Hirnrindenareale erregt usw.

Blitze hören und Donner sehen

Diese Hypothese wurde bereits im 19. Jahrhundert von dem deutschen Physiker und Physiologen Hermann von Helmholtz postuliert. Ihre Konsequenzen sind erstaunlich:

Könnte man zum Beispiel die für das Sehen und Hören verantwortlichen Nervenbahnen derart austauschen, so dass das Auge in das Hör-, das Ohr jedoch in das Sehzentrum projizierte, dann könnten wir in der Tat Blitze hören und Donner sehen.

Konstruktivisten berufen sich daher immer wieder auf dieses Prinzip, wenn sie begründen wollen, dass das Gehirn die Welt streng genommen nicht abbildet, sondern sie eigentlich neu erschafft, wenn Umweltreize in die Sprache der Neuronen übersetzt werden.

Parallele Informationsverarbeitung

Das Prinzip des Verarbeitungsortes zeigt außerdem, dass im Gehirn die so genannte *parallele Informationsverarbeitung* dominiert. Alle aufgenommenen (bzw. konstruierten) Informationen werden gleichzeitig in spezifischen Hirnarealen für den "Endverbraucher" verarbeitet.

Dies lässt sich an einem einfachen Beispiel verdeutlichen: Will ein Koch Schnittlauch schneiden, so tut er gut daran, alle Schnittlauch-Halme im Bündel (also *parallel*) zu schneiden - es sei denn er hat sehr viel Zeit. Daraus ersieht man, dass die parallele Verarbeitung - im Gegensatz zur so genannten seriellen - sehr ökonomisch ist.

Wie entsteht die Welt im Kopf?

Die Parallelverarbeitung löst noch ein weiteres Problem: Berücksichtigt man, dass wir zur Welt über verschiedene Sinneskanäle in Kontakt treten, stellt sich die Frage, wie es das Gehirn schafft, all die verschiedenen Informationen wieder zu einem kohärenten Ganzen zusammen zu setzen.

Denn offensichtlich erleben wir etwa die getrennten Wahrnehmungsaspekte eines Apfels (dessen Form, Farbe, Geschmack etc.) als zu ein und dem selben Objekt gehörend. Also ganz anders, als es die Architektur unserer Hirnfunktionen erwarten ließe.

Intuitiv würde man erwarten, dass die Lösung dieses Problems in einer Strategie besteht, die bereits vom französischen Aufklärungsphilosophen Rene Descartes angedacht wurde.

Descartes' Irrtum

Descartes war der Meinung, dass sämtliche Reize im Gehirn in einem Zentrum gebündelt würden - und dass dieses Zentrum folglich der Sitz des Bewusstseins und des freien Willens sei. Er postulierte weiterhin, dass dieses Zentrum in der Zirbeldrüse, einem kleinen Organ im Zwischenhirn, sitze.

Heute weiß man, dass die Zirbeldrüse als Produzent des Hormons Melatonin in den Wach-Schlaf-Rhythmus eingereift - und mit der Produktion von Bewusstsein nichts zu tun hat. Zu Descartes Ehrenrettung sei allerdings hinzugefügt, dass damals noch kaum Wissen über funktionelle Hirnanatomie bestand.

Lag der französische Aufklärer doch nicht falsch?

Immerhin wäre es aber möglich, dass zumindest die Descartessche Grundidee - die Zusammenführung von verteilter Information auf übergeordnete Zentren - durch die Neurowissenschaften bestätigt würde.

Tatsächlich fand man vor vier Jahrzehnten zunächst Hinweise darauf, dass der französische Denker mit seinen Spekulationen nicht ganz falsch gelegen sein könnte.

In den 1960er-Jahren entdeckten die Neurophysiologen David Hunter Hubel und Torsten Nils Wiesel, dass spezialisierte Nervenzellen im Hirn der Katze existieren, die nur durch visuelle Informationen über Objektkonturen - und sonst nichts - erregbar sind. Zudem fand man in den 1980er-Jahren Nervenzellen, die sogar für optische Muster der Gesichtererkennung verantwortlich waren.

Das Gehirn als Informations-Pyramide?

Der polnische Neurotheoretiker Konorski folgerte aus solchen Befunden, dass das Gehirn in einer Art Hierarchie organisiert sein könnte. An der Basis dieser Hierarchie, so seine theoretische Überlegung, wären Nervenzellen, die mit allgemeine Eigenschaften - wie zum Beispiel Objektkonturen - beschäftigt seien.

Weiter oben stünden dann Zellen, die speziellere Aspekte - wie zum Beispiel individuelle Personen - verarbeiten würden. Und an der Spitze wären dann Zellen zu suchen, an denen die gesamte parallel verteilte Information wieder zusammengeführt würde.

Diese Zellen entsprächen dann in etwa dem von Descartes geforderten Zentrum, das gewissermaßen als Bühne des Bewusstseins fungierte.

Das kombinatorische Problem

Leider wurde diese Hoffnung durch die experimentelle Forschung enttäuscht. Bis heute wurde keine übergeordnete Zentralstelle im Gehirn gefunden - die kartesische Bühne existiert nicht.

Das Konzept der Informationspyramide ist aber auch noch aus einem anderen Grund zum Scheitern verurteilt. Wenn es Neuronen gibt, die einzig damit beschäftigt sind, individuelle Objekte der Welt (z.B. Personen) zu

repräsentieren, dann ergibt sich ein so genanntes kombinatorisches Problem:

Die Gegenstände der Welt sind so zahlreich, dass es unmöglich erscheint, dass diese durch eine begrenzte Zahl von Nervenzellen repräsentierbar wären. Berücksichtigt man zusätzlich, dass jedes Objekt unter Vielzahl von Blickwinkeln zu betrachten ist (selbiges gilt für die anderen Sinnesmodalitäten), dann erscheint es ausgeschlossen, dass sich unser Nervensystem einer solchen Strategie bedient.

Donald Hebb's Ausweg

Es gibt aber einen theoretischen Ausweg aus diesem Dilemma. Der kanadische Neurowissenschaftler Donald Olding Hebb schlug bereits im Jahr 1949 folgende Lösung vor:

Das Gehirn könnte die große Zahl an Umwelt-Objekten dann repräsentieren, wenn Nervenzellen nicht einzeln, sondern im Verband gewisse Aspekte der Welt abarbeiteten. Zusätzlich müsste, so forderte Hebb, jede Nervenzelle in *verschiedenen* Neuronen-Teams mitarbeiten können.

Auf diese Weise ließe sich das kombinatorische Problem lösen. Denn selbst mit einer begrenzten Anzahl von Zellen können so viele verschiedene Kombinationen an Nervenverbänden gebildet werden, dass dem Gehirn damit fast unendlich viele Erregungszustände zur Verfügung stünden.

Das Bindungsproblem

Unangenehmerweise bewirkt die Hebb'sche Lösung, dass man damit wieder zur Ausgangsfrage zurückgeworfen wird: Wenn die Welt durch verschiedene überlappende Neuronen-Verbände repräsentiert wird, wie "weiß" das Gehirn, dass gewisse repräsentierte Eigenschaften zu ein und dem selben Objekt gehören?

Mit anderen Worten: Wie werden Form, Farbe, Geruch usw., die in verschiedenen Hirnarealen bearbeitet werden, zusammengeführt? Dieses Rätsel wird das "*Bindungsproblem*" der Neurowissenschaften genannt.

Die Synchronisationshypothese

Das Gehirn hat nur eine Option, um diese Aufgabe zu lösen. Es muss zusammengehörige Informationen in irgend einer Weise kennzeichnen. Die bekannteste Hypothese zu diesem Thema lautet folgendermaßen: Die Bindung von Neuronen-Verbänden wird dadurch erreicht, dass diese einfach gleichzeitig aktiv sind. Mit anderen Worten, ihre Erregungsmuster sollten synchron ablaufen.

Experimentelle Überprüfungen

Einer Arbeitsgruppe um Wolf Singer vom Max Planck-Hirnforschungszentrum in Frankfurt gelang es in den 1990er-Jahren, solche Synchronisationen in den Gehirnen von Katzen und Affen nachzuweisen.

Bisher konnte allerdings noch nicht eindeutig gezeigt werden, dass diese Erregungsmuster *notwendig* unserer

subjektiv empfundenen Einheit der Wahrnehmung zugrunde liegen.

Die Synchronisationshypothese hat aber zumindest einen großen Vorteil: Sie ist empirisch testbar und könnte damit jederzeit widerlegt werden, um einer geeigneteren Hypothese Platz zu machen.

Robert Czepele, science.ORF.at

...

Literaturhinweise

Von Wolf Singer erschien kürzlich eine Sammlung von Essays zur Hinforschung, die u. a. das Bindungsproblem thematisiert.

Wolf Singer (2002), *Der Beobachter im Gehirn*, Suhrkamp stw 1571

Fragen der Informationscodierung und des Konstruktivismus behandelt zum Beispiel der Bremer Neurobiologe Gerhard Roth.

Gerhard Roth (1997), *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*, Suhrkamp stw 1275

...

[[ORF ON Science](#) : [News](#) : [Leben](#)]

IHR KOMMENTAR ZU
DIESEM THEMA 

[abdulai](#) | 17.07, 22:37

Ach ja
und unangenehmer Weise noch kein Pyramidenspiel, na
ja. 

[abdulai](#) | 17.07, 22:34

Leider
keine Pyramidenspiel, wie schade! 

[nummer6](#) | 17.07, 14:16

Gratulation
zu diesem Artikel. Verständlich und spannend geschrieben,
was nicht einfach ist bei solch komplexen Themen.... 

[shushannah](#) | 17.07, 19:50

Kannst du es mir vielleicht in zwei drei einfachen
Sätzen schildern oder muss ich es selber
durchlesen?

[notnagler](#) | 17.07, 13:59

Sehr guter
Artikel, steht meilenweit über den meisten "science.orf.at"
Beiträgen. Gratuliere Herr Czepele !! 

[celsius](#) | 17.07, 13:54

an columbo1974 -GEFÄHRLICHES HALBWISSEN
das Wort Atom geht auf das griechische Wort Atomos
zurück, welches "das unteilbare" bedeutet ...
dbhs.wvusd.k12.ca.us/AtomicStructure/Greeks.html ...
Menschen wie du verbreiten gefährliches Halbwissen ...
allein schon die Ausdrucksweise "die Alten haben endgültig
ausgeschissen" disqualifiziert die an jeglicher fruchtbaren
intellektuellen Diskussion teilzunehmen ... wir (die
Menschheit) hat bald "ausgeschissen", wenn Menschen wie
du etwas zu sagen haben, ...leider gibt es immer mehr von
euch ... lass das Denken und Argumentieren denen über
die etwas davon verstehen ... 

[columbo1974](#) | 17.07, 14:56

will auch gar nicht argumentieren
Ich will, daß mir Leute gehorchen. -Vielleicht bring
ich es ja bis zum Konzernchef.

[grollgunde](#) | 17.07, 17:30

nicht ärgern, celsius,
vielleicht war der columbo nur nicht ausgeschlafen.
Zu dem Artikel: der ist gut.

[chackybrown](#) | 19.07, 18:33

that's life

Du hast die richtigen Worte, für diesen Jungen.
Aber noch besser find ich seine Antwort: ¿ Er will
das ihm die Leute gehorchen¿ aber wie will er
seinen ¿Untertanen¿ mit solchen Worten etwas
erklären. Aber vielleicht hab ich auch etwas
verschlafen oder bin ich vielleicht naive und immer
noch in Großvaters Zeiten. Ich denke nicht sonst
würde ich meinen Chef mit SERVUS grüßen.
Ein kleiner Tipp für unseren Columbo - der Weise
erkennt die Dummheit jedoch der Dumme nicht die
Weisheit.

[elmariachi82](#) | 17.07, 13:12

poooh

heavy shit....besonders blitze zu hören und donner zu
sehen...

huiuiui...ein paar schalter umlegen und geht scho... 

[paceyforni](#) | 17.07, 12:44

Was zum Teufel !??!

Also nochmal...es wäre also möglich Donner zu sehen und
Blitze zu hören !?!?

Dann kann ich ja gleich sagen, dass ich etwas gesehn
habe, mit meiner eigenen Nase !

Ist es nicht auch durchaus denkbar, dass jeder Mensch die
Welt anders wahrnimmt !??! Dass z.B.: grün für den
anderen wie das blau des anderen aussieht, oder dass ich
sowieso den BLitz höre und den Donner sehe !??! Kann
doch sein, schließlich wird einem von kleinauf eingeredet
dass man den Donner hört und den BLitz sieht. Vielleicht
ist es aber genau umgekehrt.

Und wenn wir schon bei so viel offenen Fragen sind..."Was
war zuerst da...Die Henne oder das Ei ?", oder "...Was ist
der Sinn des Lebens ?"

Fragen über Fragen und keiner kann sie beantworten.

Prost Mahlzeit !

Forni (c) 

[chackybrown](#) | 19.07, 18:54

Mahlzeit

Ja. Es könnte sein das du denn Himmel in einer
anderen Farbe siehst, aber bedenke du, ich und alle
anderen bezeichnen es als blau. Blau ist aber nur
ein Wort oder ? Ja ist es denn wir sagen dazu blau
und der Engländer nennt es blue. Aber wenn wir
sagen der Himmel ist blau des ist jeder damit
einverstanden, oder ?

Es sind Worte mit denen wir uns verständigen aber
was wir meinen ist oft ganz was anderes. Aber
zerbrich dir nicht den Kopf darüber wieso blau und
nicht grün, oder sieht der andere die Farbe rot wie
ich blau sehe. Das sind fragen die wir nie
beantworten werden können, da wir diese Farbe mit
dem selben Wort bezeichnen.

Aber vielleicht ist das der Schlüssel warum dem

einem blau gefällt und dem andern rot.
danke
p.s.: der Sinn des Lebens ist es zu genießen so
lange es geht und mit allen schönen was es uns
bietet

[fangorn](#) | 17.07, 12:39

Atom

Das mit dem Atom ist ja nicht widerlegt!
Die Theorie geht von einem "unteilbaren Grundbaustein"
der Materie aus.

Daß man ein bestimmtes Teilchen im Glauben, den
Grundbaustein gefunden zu haben Atom genannt hat - und
daß sich in der Folge herausgestellt hat, daß es eben nicht
unteilbar ist hat ja nichts mit der Theorie zu tun

Ob es ein unteilbares "Atom" gibt oder nicht bleibt noch zu
beweisen. 

[cyberman](#) | 17.07, 12:45

In gewisser Weise IST das Atom ein unteilbarer
Grundbaustein - weil ein Atom die kleinste mögliche
Menge eines Elementes ist. Sobald ein Eisen-Atom
gespalten ist, ist es ja kein Eisen mehr.

[eliaderendzeit](#) | 17.07, 15:27

Das Atom bleibt ein Postulat
Wenn man ein Teilchen findet, das man Atom
voreilig nennt und dann dieses widererwarten doch
teilen kann (aber nicht unbedingt sollte) befindet
man sich im gleichen Dilemma, wie diejenigen die
einen Knochenfund nach dem postulierten
"Proconsul", dem vermuteten Bindeglied zwischen
Affen und Menschen, benannten und hinterher
feststellten, daß es doch kein gefundenes missing
link ist.

[darchy](#) | 17.07, 18:26

tja
die atommodelle unterliefen ja einen wandel der zeit.
sie wurden immer wieder so angepasst, um
existierende physikalisch/chemische phänomene
beschreiben zu können. vielfach wurden auch
teilchen einfach 'vorhergesagt', allein aus
theoretisch-mathematischen überlegungen heraus -
und wurden später auch gefunden.

[darchy](#) | 17.07, 18:27

@elia
ich glaube, es ist nur eine frage der zeit, bis das
sogenannte 'missing link' gefunden wird ;)

[fightcluber](#) | 17.07, 12:36

Kopfarbeit
Fantastischer Artikel! Spontan fällt mir da ein Satz ein, den
ich mal aufgeschnappt habe: "Wenn unser Gehirn so
einfach aufgebaut wäre, daß wir es verstehen könnten,
dann wären wir dazu nicht in der Lage." Nichtsdestotrotz
hoffe ich, daß wir noch mehr über unser Kontrollzentrum
rausfinden können und freue mich auf zukünftige
Forschungsergebnisse.

Alles Liebe

Albert



[eliaderendzeit](#) | 17.07, 12:25

Das Atom

wurde von Demokrit von Abdera postuliert. (Hintergedanke: Alles messen was meßbar ist und alles machen was machbar ist ;-)

Descartes sagte auch, wenn ich mich nicht irre, daß 12 Männer notendig waren um einen Irrtum (Christentum) zu verbreiten, daß hingegen ein Mann (er selbst) genügt, um diesen Irrtum zu Fall zu bringen. An dem Platz wo er damals stand steht heute das Verlagshaus der Französischen Bibelgesellschaft.

"Das Atom ist das kleinste nichtmehr teilbare Teilchen aus dem die Materie besteht" oder so ähnlich, lehrte man uns, meine Generation, noch in den 70ern, lange, lange nach Hiroshima und Nagasaki. Theorien versuchen leider oft nur Postulate zu untermauern und werden nicht formuliert um Fakten/Wissen in der Vorstellung zu VERKNÜPFEN. 

[darchy](#) | 17.07, 22:17

atomar

zumindest in den 80ern lehrte man das nicht mehr, zumindest mir nicht ;) ausserdem versuchen theorien meistens, beobachtbare phänomene zu beschreiben oder zu erklären. postulate zu untermauern ist z.b. ein weg den die kreationisten beschreiten...

Die ORF.at-Foren sind allgemein zugängliche, offene und demokratische Diskursplattformen. Bitte bleiben Sie sachlich und bemühen Sie sich um eine faire und freundliche Diskussionsatmosphäre. Die Redaktion übernimmt keinerlei Verantwortung für den Inhalt der Beiträge, behält sich aber das Recht vor, krass unsachliche, rechtswidrige oder moralisch bedenkliche Beiträge sowie Beiträge, die dem Ansehen des Mediums schaden, zu löschen und nötigenfalls User aus der Debatte auszuschließen.

Sie als Verfasser haften für sämtliche von Ihnen veröffentlichte Beiträge selbst und können dafür auch gerichtlich zur Verantwortung gezogen werden. Beachten Sie daher bitte, dass auch die freie Meinungsäußerung im Internet den Schranken des geltenden Rechts, insbesondere des Strafgesetzbuches (Üble Nachrede, Ehrenbeleidigung etc.) und des Verbotsgesetzes, unterliegt. Die Redaktion behält sich vor, strafrechtlich relevante Tatbestände gegebenenfalls den zuständigen Behörden zur Kenntnis zu bringen.

Die Registrierungsbedingungen sind zu akzeptieren und einzuhalten, ebenso Chatiquette und Netiquette!

[Übersicht: Alle ORF-Angebote auf einen Blick](#)