



Orientierung mit Links und Rechts

⇒ Der Artikel veranschaulicht einen Mechanismus der Orientierung mit einer Einordnung in Links und Rechts. Es wird an den Grundlagenartikel >>Gegensätzlichkeit bringt uns das Denken<< angeknüpft und ein neuronales Merkmal vorausgesetzt. Nervenfasern im Gehirn besitzen bei ihrer Entstehung und im Wachstum eine Eigenschaft, die informationstechnisch relevant ist. Sie treten regelmäßig in Paaren auf, deren Partner nur abwechselnd und nie gleichzeitig Reize senden. Ihre jeweiligen Informationsinhalte sind zueinander gegensätzlich.

1 Links und Rechts

Erinnerungen, Pläne und Ideen ... all das entsteht in Gehirnen. Dabei bestehen Gehirne aus vielen Nervenzellen, den Neuronen, und noch viel mehr Nervenfasern, den Axonen, die alles miteinander vernetzen. Ein undurchsichtiges, verwobenes Schaltwerk mit beim Menschen rund 100 Milliarden Neuronen und 100.000 Milliarden Axonen.

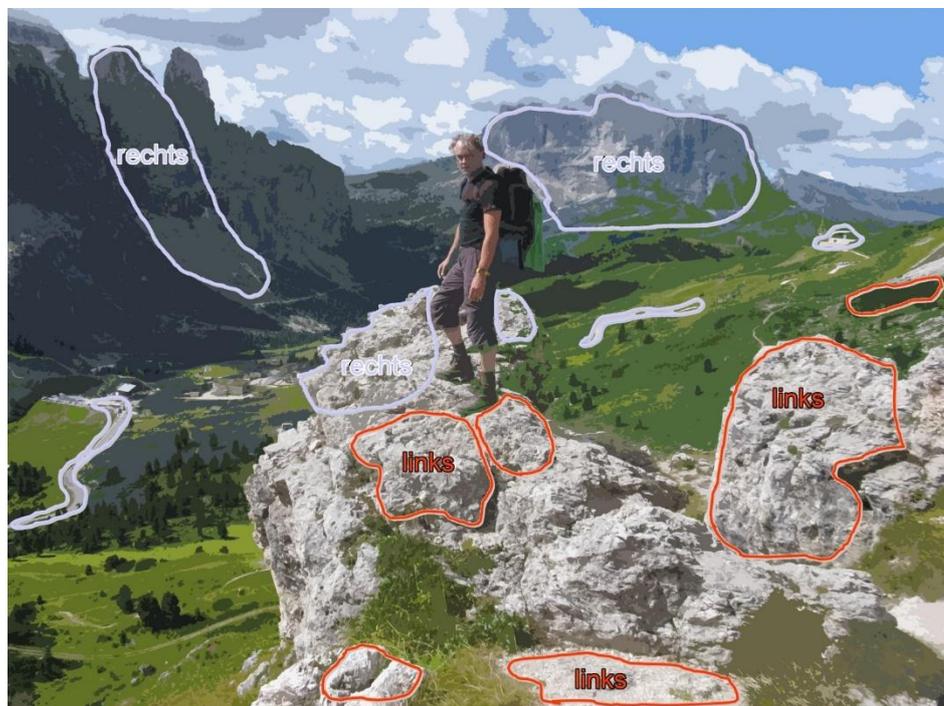


Bild: Abhängig von meiner Position im Raum fallen Objekte ins linke oder rechte Gesichtsfeld.

Wie kann dieses Undurchsichtige, Verwobene so etwas wie Orientierung hervorbringen und Sinn machen? Der Artikel führt den dafür notwendigen Mechanismus auf das für alle Lebewesen mit bilateral-symmetrischem Körper verlässliche Merkmal zurück. Vom Regenwurm bis zum Menschen orientieren sie sich an Links und Rechts. Verstehen lassen sich die Zusammenhänge, wenn man an den Strukturen der Gedächtnisbildung bei Säugetieren ansetzt.

2 Neuronale Struktur für die Gedächtnisbildung

Der Papez-Neuronenkreis geht auf James W. Papez und dessen Theorie aus dem Jahr 1937 zurück. Er bildet einen geschlossenen Signal-Kreislauf über viele parallele Ketten an nacheinander verschalteten Gehirnzellen. Dieser Signal-Kreislauf durchzieht die im Bild des limbischen Systems unten erkennbaren Stationen in der Folge *Hippocampus* (vorderes, breites Ende der grün dargestellten Struktur) → *Fornix* (gebogener grüner Abschnitt über dem Thalamus) → *Mamillarkörper* (rotes Ende) → *Nuclei anteriores* des Thalamus (grün gefärbt) → *Gyrus cinguli* (inneres Areal des Großhirns) → *Entorhinaler Cortex* und wieder zurück → *Hippocampus*. Die Hippocampi beider Hemisphären sind über die *Commissura fornicis* miteinander gegengekoppelt. Schädigungen des Fornix führen zu einem Verlust an räumlicher Orientierung und zu Gedächtnisstörungen mit Herabsetzung der Merkfähigkeit für neue Bewusstseinsinhalte.

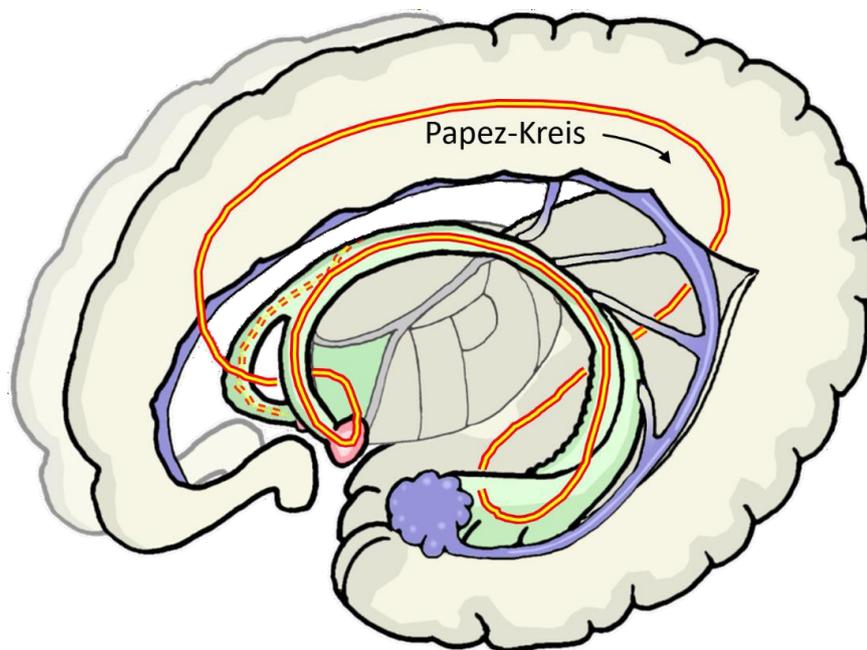


Bild: Papez-Neuronenkreis

Eine Besonderheit ist, dass im Hippocampus bis ins hohe Alter neue Nervenzellen entstehen, was ihn vom Rest des Gehirns unterscheidet. Erforscht sind zudem die bemerkenswerten internen Signalkreisläufe innerhalb des Hippocampus. So erreichen die Signale des Entorhinalen cortex aus dem Papez-Kreis den Gyrus Dentatus im Hippocampus durch einen Verbindungsbereich, das sogenannte Subiculum, hindurch. Durch dasselbe Subiculum verlassen die Signale den Hippocampus in Richtung des Fornix. Unabhängig davon gibt es durch den Gyrus dentatus noch einen weiteren Eingangspfad für Signale aus dem Großhirn. Das Besondere des Hippocampus ist der zusätzlich noch einmal interne Signalkreislauf zwischen dessen Teilbereichen in der Folge Subiculum → Cornu ammonis 3 und 4 → Cornu ammonis 1 → Subiculum. Für den weiten Nervenfaserverlauf über den Fornix verfügt das Cornu ammonis 1 über die dafür speziell geeigneten Pyramidenzellen.

Der Hippocampus enthält eine Raumkarte der aktuellen Umgebung. Dieser Eindruck konnte nach neuronalen Versuchen mit Tieren gewonnen werden. Die Raumkarte wird mit wechselnder Umgebung verändert. Einzelne Neurone werden aktiviert, wenn sich das Lebewesen an einem bestimmten Ort eines Bewegungsbereichs befindet (www.spektrum.de).

3 Gegenkopplung bei der Gedächtnisbildung

Deutlich übersichtlicher wird das an der Gedächtnisbildung beteiligte System nach Zerlegung in Schaltblöcke und Signalpfade.

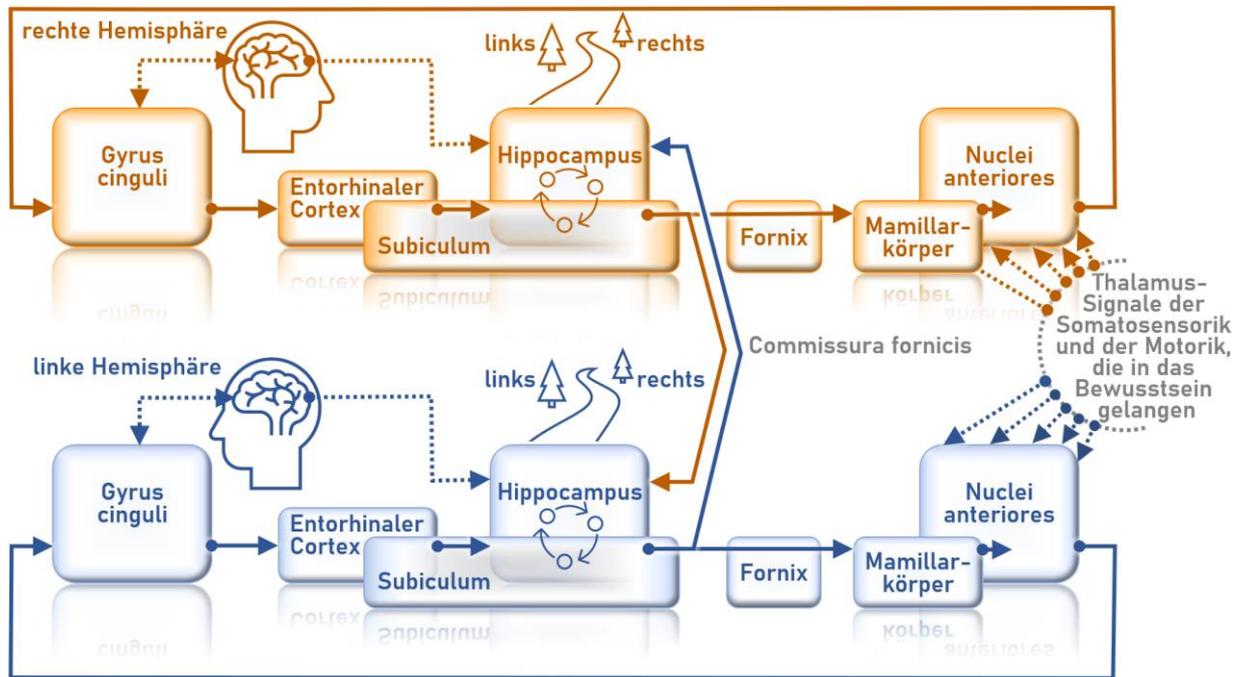


Bild: Papez-Kreise beider Hemisphären mit Gegenkopplung über Hippocampi

Für das Verständnis der Zusammenhänge lässt sich das Schaltbild weiter abstrahieren und es lassen sich Schaltblöcke in ihrer funktionalen Wirkung ansatzweise einordnen.

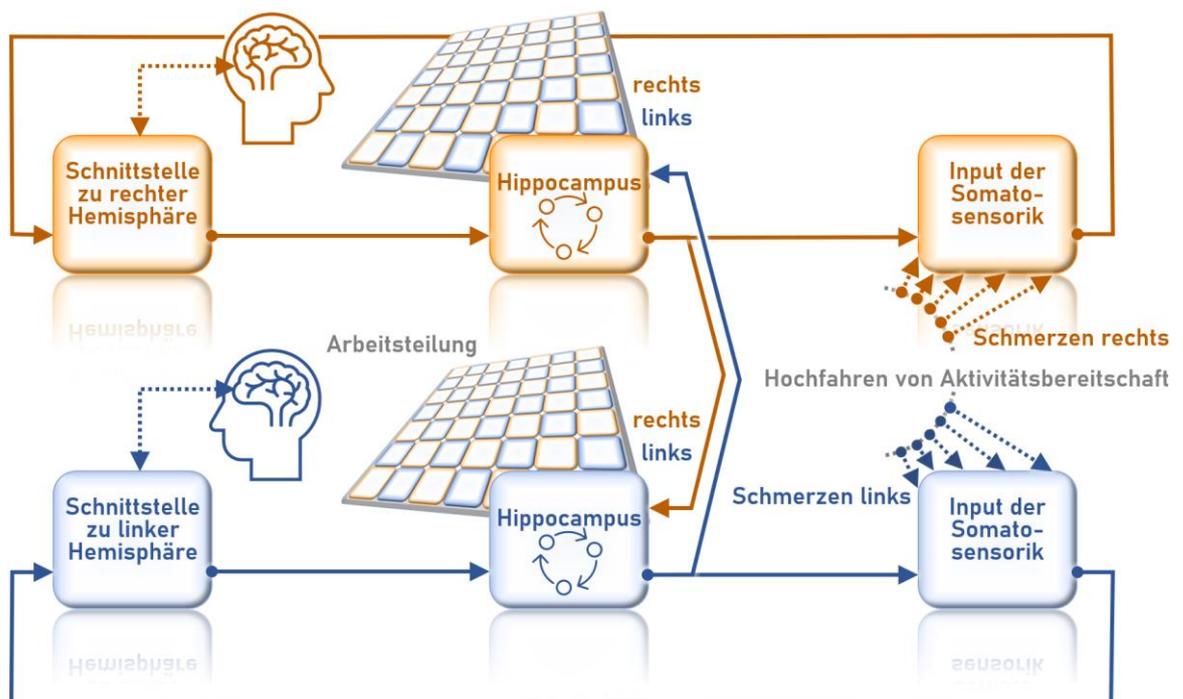


Bild: Gegenkopplung zwischen Hippocampi erzeugt Landkarte der Rechts-links-Arbeitsleistung.

4 Anbindung an somatische Signale

Der Thalamus ist bei Säugetieren die wichtigste Schaltstelle für Signale, die das Großhirn erreichen. Er ist insbesondere auch in den Papez-Kreis integriert und soll deshalb zum Verständnis weiterer Zusammenhänge kurz behandelt werden.

Alle Signale aus Körper und Umwelt, die wir bewusst wahrnehmen, werden im Thalamus verschaltet. Durch ihn gelangen somatosensorische Reize und Signale der Sinnesorgane zum Großhirn sowie auch im Gehirn selbst über assoziative Bereiche rückgekoppelte Signale. Bei Menschen und Primaten gelangen durch ihn auch die in Kleinhirn und Basalganglien vorverarbeiteten Befehle an die Motorik. Wichtige Kerngebiete des Thalamus lassen sich wie folgt zuordnen. Die Namensgebung leitet sich meist aus der medizinischen Lage-Beschreibung im Körper ab, ist aber teils uneinheitlich. Die im Bild grün dargestellten Kerngebiete des Thalamus, Nuclei anteriores und Nucleus lateralis dorsalis sind in die Funktion des Papez-Neuronenkreises eingebunden.

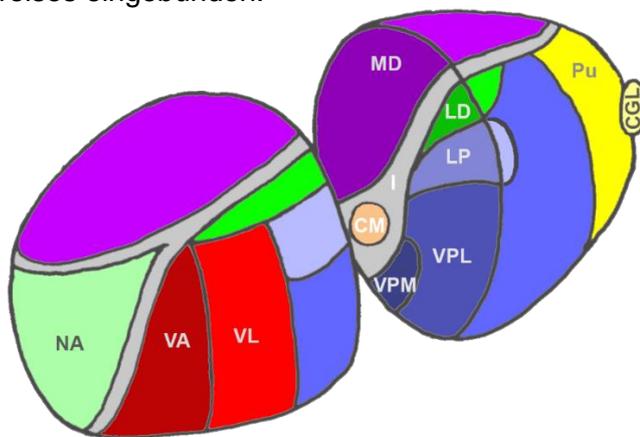


Bild: Thalamus der linken Gehirnhälfte, Skizze von vorne seitlich mit Aufteilung in Kerngebiete

Kerngebiete	Verschaltung, nicht vollständige Auswahl
NA Nuclei anteriores	von: Corpus Mamillare und Mittelhirndach, zu: Gyrus cinguli und Hippocampus
VA Nucleus ventralis anterior	von: Basalganglien, zu: wie VL
VL Nucleus ventralis lateralis	von: Basalganglien, Kleinhirn zu: prämotorischer und motorischer Cortex
VPL Nucleus ventralis posterolateralis	von: Schmerz- und Tastsinn vom Rumpf zu: somatosensorischer Cortex
VPM Nucleus ventralis posteromedialis	von: Schmerz- und Tastsinn Gesicht, zu: wie VPL
LP Nucleus lateralis posterior	unspezifischer Thalamuskern
LD Nucleus lateralis dorsalis	von und zu: Nuclei anteriores/agieren gemeinsam
MD Nucleus mediodorsalis	von: Amygdala, Hypothalamus, Thalamus-intern zu, auch von: Frontallappen des Großhirns
CM Nucleus centromedianus	von: Zwischenhirn/Pallidum, zu: Basalganglien
Pu Pulvinar	von und zu: visuelle Felder in Okzipital- und Parietallappen, Kontrolle der Augenbewegung
CGL Corpus geniculatum laterale	von: Sehbahn, zu: Sehrinde
I Lamina medullaris medialis	interne Lamina, trennende Zwischenschicht

5 Anbindung an das Gedächtnis

Wie bei einem Schaltwerk lassen sich dem Großhirn informationstechnischer Input und Output zuordnen. Der Input der Somatosensorik und der Sinnesorgane erreicht die Großhirn-Hemisphären über deren jeweiligen Thalamus. Ein Output richtet sich an den Papez-Kreis und beeinflusst damit Gedächtnisbildung und Steuerung von Aufmerksamkeit. Die einflussstärkste Schnittstelle einer Hemisphäre für dieses Output ist der Gyrus cinguli.

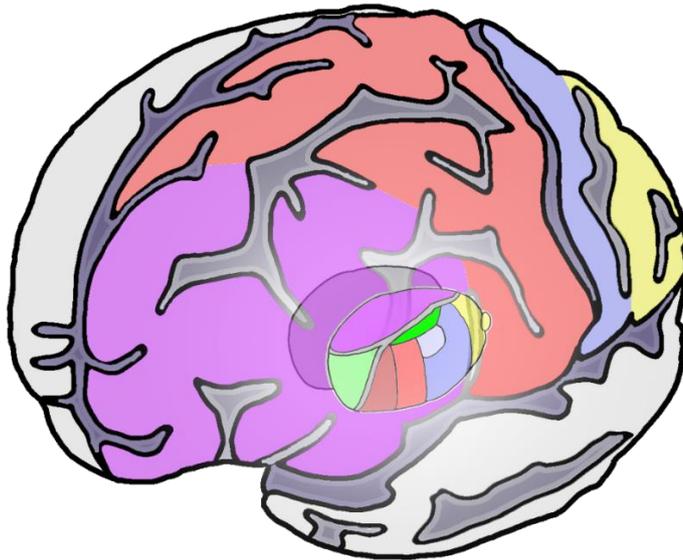


Bild: Input-Signale erreichen das Großhirn in breit über die Hemisphären verteilten Arealen.

Dabei ist das Großhirn selbst das Ziel der Gedächtnisbildung, insbesondere für das Langzeitgedächtnis. Die Schnittstelle zum Papez-Kreis muss man sich als die Summe aller Verkopplungen zwischen Gyrus cinguli und Großhirn vorstellen. Durch dessen Signalkreislauf entsteht ein temporär stabiles Muster an wiederholt und gleichzeitig aktivierten Neuronen im Verlauf des Papez-Kreises. Das erzeugt eine stabilisierende Wirkung und ist Auslöser der sogenannten Langzeit-Potenzierung. Diese ist die Basis für neuronale Plastizität und damit die Umformung der neuronalen Strukturen und Verschaltungen. Ohne diesen Prozess wären weder die Bildung eines Gedächtnisses noch Lernerfahrungen möglich.

Das im Papez-Kreis kurzzeitig gespeicherte Reizleitungsmuster ist zu jedem Zeitpunkt im Leben einmalig. Es ist der Impulsgeber für die Erinnerung erlebter Momente. Je nach Intensität eines Erlebnisses, wirkt es sich bis in die hintersten Bereiche des Gehirns aus. Entsprechend nachhaltig ist die Erinnerung. Daher auch der Begriff des *Hinter-die-Ohren-Schreibens*. Bei der Vermessung von Grenzpunkten zwischen Ortschaften wurde für das bessere Einprägen der genauen Stellen ein junger Bursche mitgenommen. Damit dieser sich später erinnert, wurde sein Gedächtnis per kräftiger Ohrfeige gefestigt.

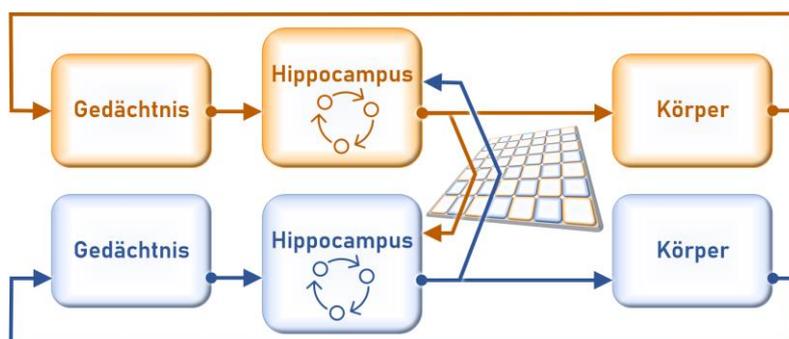


Bild: Hippocampus synchronisiert hemisphärenübergreifende Arbeitsteilung.

6 Verschmelzung der Gehirnleistung beider Hemisphären

Erinnerungen, Pläne und Ideen kommen uns undurchschaubar vor. Sie wären es auch für unser Gehirn, wenn es nicht eine kompromisslos konsequente Ordnung gäbe. Die Einteilung in links und rechts. Das Äußere geirntbegabter Lebewesen ist, soweit es die Systematik erfordert, bilateral-symmetrisch. Das Sehen und Hören ist es. Und das Gehirn selbst ist symmetrisch aufgebaut. Bemerkenswert dabei ist die Aufteilung des Sehnervs. Am Chiasma opticum wechseln die Nervenfasern von der nasalen Hälfte der Netzhaut zur gegenüberliegenden Gehirnhälfte und der Rest wechselt nicht. Die Sinnesreize beider Augen werden so gezielt nach linkem und rechtem Gesichtsfeld separiert auf die Hemisphären verteilt. Das Gesehene der Umgebung erfährt dieselbe Links-rechts-Ordnung wie das ganze Lebewesen.

Sensorik und Motorik der linken Hemisphäre sind der rechten Körperseite zugeordnet und umgekehrt. Die Sensorik nimmt Reize der Umgebung wahr. Die Motorik steuert Reaktionen darauf. So verbinden Sensorik und Motorik ein Lebewesen mit der Umgebung. Die Einordnung in Links und Rechts erzeugt Orientierung. Und daran knüpfen alle neuronalen Prozesse an. Ziel ist die koordinierte Kontrolle des Lebewesens. Die muss ganzheitlich sein und erfordert eine Verschmelzung der Gehirnleistung beider Hemisphären. Die konsequente Ordnung mit links und rechts muss irgendwo wieder durchbrochen werden. Das gilt für das Gedächtnis, welches Erinnerungen speichert, wie auch für die Arbeitsteilung im Hier und Jetzt.

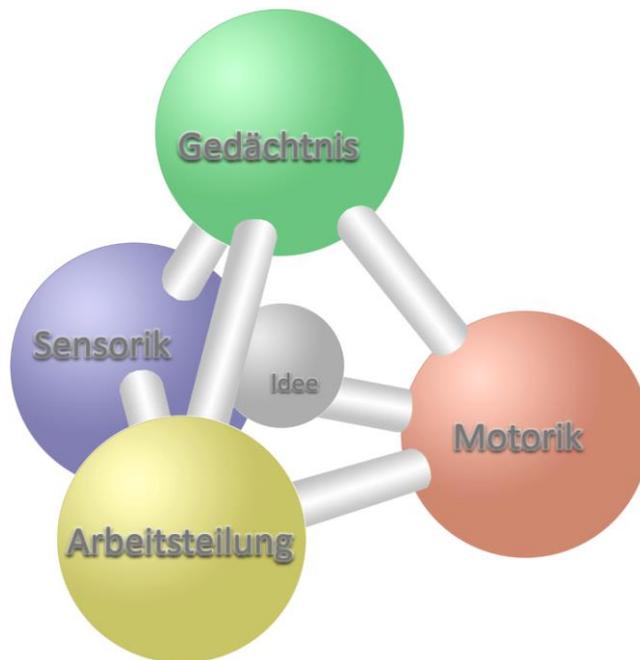


Bild: Links-rechts-geordnete Sensorik / Motorik sind Basis für Gedächtnis und Arbeitsteilung.

Im vorangegangenen Abschnitt wurde eine Anbindung des Papez-Kreises an das Gedächtnis besprochen. Allerdings ist diese Anbindung für sich genommen nach Hemisphären getrennt. Abruf von Erinnerungen zum einen und Gedächtnisbildung mit neuen Erinnerungen zum anderen sind jeweils zweigeteilte Prozesse. Zur Überwindung des Zweigeteilt-Seins gibt es Signalfade über die sogenannten Kommissuren, welche die Hemisphären miteinander verbinden. Diese erfüllen auch ohne limbisches System den Zweck der Verschmelzung der Gehirnleistungen. Zum generellen Verständnis in diesem Artikel wird die Systematik bei Säugetieren betrachtet mit den funktional nachvollziehbaren Funktionsblöcken im Papez-Kreis.

Im limbischen System haben die Hippocampi beider Hemisphären eine besondere Rolle. Sie stehen über die Commissura fornicis im Signalaustausch miteinander und realisieren auf diesem Weg die Verkopplung der bewusst erlebten Gehirnleistung beider Hemisphären.

7 Landkarte der Links-rechts-Arbeitsteilung

Abhängig von meiner Position im Raum fallen Objekte meiner Umgebung ins linke oder rechte Gesichtsfeld. Der Bergwanderer sieht einmal Täler und entfernte Berge zu seiner Rechten und nahegelegene Felsen für den nächsten Tritt zu seiner Linken. So wie es sein Sehen erfasst. Dreht er sich um und schaut in Gegenrichtung wird links und rechts entsprechend vertauscht.

Damit muss das Gehirn umgehen. Und genauso ganzheitlich, wie es die Kontrolle über beide Gehirnhälften erlangt, entwickelt es eine ganzheitliche Vorstellung von seiner Umgebung. Denn: Links und Rechts dienen zwar der Orientierung, ohne die es kein Denken gäbe. Links und Rechts sind aber ganzheitlich gesehen stets relativ zu etwas Anderem. Und daher ungeeignet für eine ganzheitliche Raumkarte, wie wir sie nach neuronalen Versuchen mit Tieren kennen. Einzelne Neurone im Hippocampus zeigen sich aktiv, wenn sich das Lebewesen an einem bestimmten Ort befindet. In einer Raumkarte spiegelt sich das für die Arbeitsteilung im hier und jetzt relevante Wissen. Ändert sich das Hier und Jetzt wird die Raumkarte gewechselt. Vielleicht sogar durch eine andere Art Karte ersetzt, je nachdem woran das Gehirn gerade arbeitet.

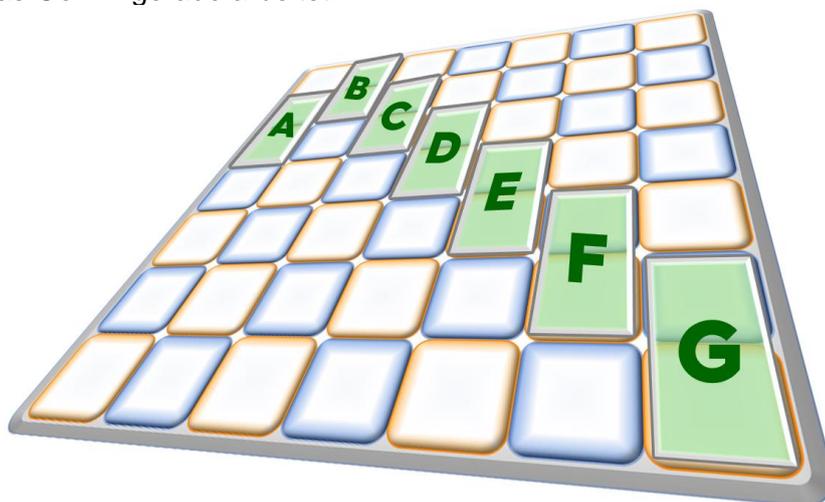


Bild: Links-rechts-Neuronen-Paare der Karte sind Orten im Raum oder auch Ideen zugeordnet.

Wichtig ist, dass beide Hemisphären den Sinn hinter den kartierten Orten oder Ideen erzeugen. Der Hippocampus mit seiner Raumkarte kennt keinen Sinn, er vermittelt nur. Sinn entsteht mit den Aktivitäten im Gehirn und der Gleichzeitigkeit zueinander passender Reiz-Muster in beiden Hemisphären. In dieser Vorstellung hätten wir es mit Raumkarten-Neuronen zu tun, deren Aktivierung sich auf ganze Ketten an Neuronen im Papez-Kreis überträgt und schließlich auf die Herstellung gekoppelter Aktivität einer ganzen Hemisphäre. Und umgekehrt würde eine mit einem Sinn behaftete Aktivität einer Hemisphäre auf den Papez-Kreis bis zu dessen Raumkarten-Neuronen rückwirken. Einmal mit einem Sinn in Bezug gesetzt können die Hippocampus-Neurone Orte im Bewegungsbereich des Lebewesens repräsentieren. In anderen Mind-Settings wären es Buchstaben des Alphabets oder Musiknoten einer Partitur.

Was dabei klar wird ... dem Sinn als solchem sind wir mit der Arbeitsteilung nicht auf der Spur. Einmal mehr müssen wir eine kompromisslos konsequente Ordnung fordern. Dieses Mal mit Bezug auf die höchst abstrakte, symmetrische Generierung von Sinn. Beide Hemisphären sollen Dinge anpacken, die einen ganzheitlichen Sinn ergeben. Sie müssen ihre Verbindungen über Kommissuren – die wichtigste im Großhirn ist das Corpus callosum – dazu einsetzen. Nur das, was beidseitig der Symmetrieebene eine Schnittmenge an Sinn ergibt, kann sich evolutionär und in der Gehirnentwicklung durchsetzen. Mit dieser Voraussetzung wird die Erzeugung von Arbeitsteilung, hinter der wir die Hippocampi vermuten, durchschaubar. Die Arbeitsteilung übernimmt das vorhandene Aktivitätsmuster und kennt zu jedem Punkt zwar nicht dessen Sinn, aber ob er aktuell von der linken oder rechten Hemisphäre dominiert wird.

8 Gegenkopplung der Hippocampi

Der Grundlagenartikel >>Gegensätzlichkeit bringt uns das Denken<< veranschaulicht ein entscheidendes Merkmal bei der Ausprägung von Verbindungspfaden zwischen Gehirnarealen, das sich auch auf die Gegenkopplung der beiden Hippocampi über die Commissura fornicis übertragen lässt. Axone treten regelmäßig in Paaren auf, deren Partner nur abwechselnd und nie gleichzeitig Reize senden. Ihre jeweiligen Informationsinhalte sind zueinander gegensätzlich. Die für die Arbeitsteilung der Hemisphären gesuchte Gegensätzlichkeit lässt sich dazu passend mittels Links-rechts-Neuronen-Paaren darstellen. Das Orientierungssystem der Hippocampi würde auf diesen aufbauen. Beide Hippocampi würden dieselbe Information darstellen nur mit zueinander entgegengesetztem Vorzeichen. Die Hemisphäre der einen Seite würde als dominierend, die andere als beobachtend eingestuft. Im Ergebnis würde die Arbeitsteilung zu einem Ort einer Raumkarte oder allgemein einer Karte dargestellt.

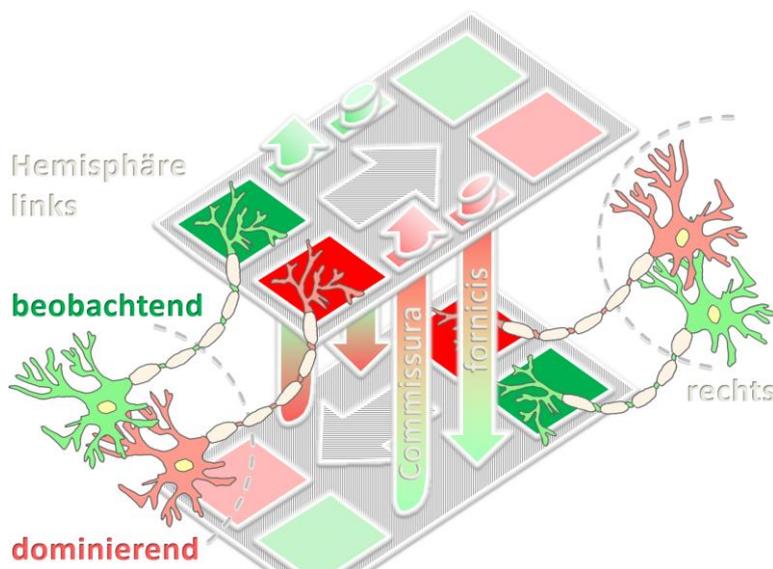


Bild: >Dominanz-links< anzeigendes Raumkarten-Neuron wirkt auf >Beobachtung-rechts<.

9 Reduziertes Großhirn-Denken bei akuter Gefahr

Reizt man den Gyrus cinguli mit einer Elektrode, verändern sich die Körperfunktionen. Das so stimulierte Säugetier atmet langsamer, auch sein Herz schlägt langsamer, sein Blutdruck sinkt und die Pupillen erweitern sich. Wir erkennen eine Herabsetzung der Aktivitätsbereitschaft des Körpers und damit die Wirkung des parasympathischen Nervensystems. Das Gegenteil dazu wäre ein Hochfahren von Aktivitätsbereitschaft etwa bei akuter Gefahr, wenn schnelles Handeln erforderlich wird. Es stellt sich die Frage, ob es zwischen dem Gegenspielermechanismus von Sympathikus und Parasympathikus einen Zusammenhang mit dem Papez-Neuronenkreis gibt. So wie der Papez-Kreis über den Gyrus cinguli das Gedächtnis anbindet, bindet er über den Thalamus Signale und Bedürfnisse des Körpers an. Dies geschieht unmittelbar vor dem Eintreten in den Gyrus cinguli. Zu erwarten ist, dass der Thalamus im Fall bedrohlicher Schmerzen oder Gefahren signifikant auf den Papez-Kreis einwirkt und die nachfolgenden Signalketten stark beeinflusst. In der Not zeigt sich dann die Wirkung des sympathischen Nervensystems. Durch das beschriebene Experiment mit künstlicher Reizung des Gyrus cinguli werden die aktivitätsbeschleunigenden Signalketten, die auf den Thalamus zurückgehen, überlagert. Der Papez-Kreis scheint dann blind für Schmerz und Gefahren. Auch weiß man, dass Betroffene bei einer Schädigung des Gyrus cinguli weniger auf Umweltreize reagieren. Bei größeren Schädigungen reagieren sie nicht einmal mehr auf Schmerzreize.

10 Orientierung

Gegenkopplung und Querverbindungen zwischen den Hemisphären machen das Gehirn zu einer Einheit. Erst mit verbindenden Signalpfaden ist ein Lebewesen ganzheitlich von einer zentralen Stelle aus zu kontrollieren. Der Beitrag des Links und Rechts mit der kompromisslosen Ordnung, die wir in der Symmetrie sehen, ist das Finden einer Mitte. Diese Mitte ist im Kern der springende Punkt aller Überlegungen. Erinnerungen, Pläne und Ideen unseres Denkens knüpfen an einen allerersten Anhaltspunkt an. Die Mitte, so einfach sie uns erscheint, ist die erste Orientierung im absoluten Nichts. Ohne einen eigenständigen Sinn als solchen zu besitzen, wird unsere Mitte zur Keimzelle für alles Sinnvolle.

Mit seiner hochentwickelten Spezialisierung auf das Sehen mit zwei Augen und auch auf das Hören zeigt das Großhirn den Stellenwert, den die Fähigkeit zur Orientierung einnimmt. Unser Großhirn setzt mit mehr als 30 visuellen Arealen allein etwa 60% seiner Großhirnrinde für das Wahrnehmen, Interpretieren und Reagieren auf visuelle Reize ein. Mit dem Sehen lässt sich die Gewinnung sinnvoller Informationen veranschaulichen. Im einfachsten Fall geht es um die Unterscheidung von Hell und Dunkel im Gesichtsfeld der Augen. Aus vielen Bildpunkten entsteht dann ein Gesamteindruck für die Orientierung im Raum.



Bild: Linkes und rechtes Auge senden zu einem überlappenden Bildbereich redundante Reize.

Die Umwelt soll möglichst unverfälscht wahrgenommen werden. Jeder Bildpunkt, jedes Detail, und ist es auch noch so klein, müssen die Wirklichkeit repräsentieren. Gäbe es dabei nicht einen allerersten Anhaltspunkt, brähe ein heilloses Durcheinander an Signalreizen aus. Denn woran soll das Gehirn eine spontane Aktivierung einer Nervenzelle von wirklichkeitsgetreuen Informationen unterscheiden? Die Lösung liegt in einer einfachen Mehrheitsentscheidung. Wenn zwei Neurone dasselbe tun, dann sagen sie die Wahrheit! Selbstverständlich müssen die korrekten Partner gefunden werden, welche dieselbe Information repräsentieren. Genau das finden wir in der Systematik überlappender Bildbereiche beider Augen.

Bildinformationen der Retina des linken und rechten Auges, die dem linken Gesichtsfeld zugeordnet sind, gelangen über den Sehnerv zum Corpus geniculatum (CGL) des Thalamus der rechten Hemisphäre. Die Signale des linken Auges werden im rechten Thalamus in den Schichten 1, 4, 6 des CGL abgebildet. Das rechte Auge projiziert auf Schichten 2, 3, 5. Und umgekehrt beim rechten Gesichtsfeld. Damit löst das Gehirn eine bedeutende Aufgabe zur Prüfung der Wirklichkeitstreue redundanter Bildinformationen. Es bringt die Neuronen, die eine Information repräsentieren, wohlortiert in die Nähe ihrer jeweiligen Partner-Neurone, welche für dieselbe Information stehen. Übertragen auf die Erzeugung von Sinn bedeutet das, dass das Gehirn in ähnlicher Form mit allen Informationen umgeht. Sein Aufbau und seine Entwicklung dienen dem permanenten Bestreben, Partner-Informationen miteinander zu verheiraten.