

13.8.2015

0-1-1-2-3-5-8

# Denken in Resonanz mit Erinnerung

⇒ Dieser Artikel geht von abgegrenzten Funktionseinheiten des Gehirns von Säugetier und Mensch aus und behandelt deren Wechselwirken in einem systemtheoretischen Konzept. Dabei wird eine anschauliche Systematik zur Funktion des Denkens entwickelt.

Der Begriff des **Denkens** wird erstmals in der Form eines in sich geschlossenen Konzepts behandelt. Die Überlegungen gelangen zu der Schlussfolgerung, dass die in das Gehirn eindringenden Eindrücke durch Initialwirkung des limbischen Systems vernetzt werden und so zum Gedächtnis beitragen. Stabile Erinnerungen bilden dann die Basis allen Denkens.

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Einordnung
- 2 Topologie des Gehirns
- 3 Gedächtnis und Information
- 4 Eindrücke und Erinnerungen
- 5 Hippocampus als Taktgeber der Lernens
- 6 Strukturentwicklung des Gehirns im Wachstum
- 7 Spezialisierung der Gehirnhälften
- 8 Kontingenz

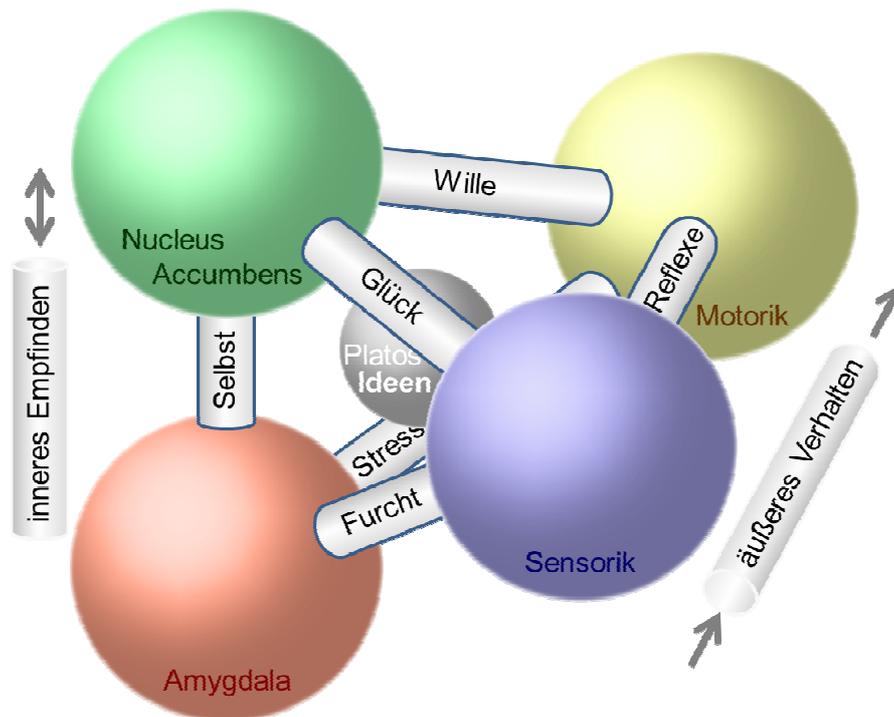
## Einordnung

Die Gehirnforschung hat in den vergangenen Jahren das Wissen über neuronale Vorgänge und Strukturen vorangebracht. Interessant sind dabei auch Erkenntnisse über die Entstehungsgeschichte, welche nachvollziehen lässt, dass das moderne Gehirn am Ende einer evolutionären Entwicklungskette steht. Ziel der systemtheoretischen Vorgehensweise hierin ist es, auf dem Boden gesicherter Erkenntnisse zu strukturellen Zusammenhängen zwischen neuronalen Vorgängen und einem Konzept des Denkens zu gelangen.

## Topologie des Gehirns

Mit Entstehung des limbischen Systems in der Phase der Entwicklung der Säugetiere verbesserte sich das Gehirn deutlich. Das Verhalten der Säugetiere unterscheidet sich besonders durch seine soziale Natur mit zu beobachtenden Empfindungen wie Sorge um den Nachwuchs, Angst, Liebe, Lust und Spieltrieb. Darüber hinaus hat sich auf dem Weg der Entwicklung zum Menschen die Leistungsfähigkeit des Gehirns weiter erhöht. Unter anderem wurden schrittweise veränderte Gene entdeckt, die auf der Duplizierung von DNA-Abschnitten basieren, welche die Faltung und Vergrößerung des menschlichen Kortex vorangebracht haben. Der mit dem limbischen System erlangte Nutzen konnte sich damit weiter entfalten. Interessante Funktionseinheiten des limbischen Systems sind Amygdala

und Nucleus accumbens. Beide Funktionseinheiten wirken weit in das Gehirn hinein und erhalten selbst Stimuli aus entfernten Gehirnbereichen. Während die **Amygdala** mit Emotionen der Angst und Furcht in Verbindung gebracht wird gilt der **Nucleus accumbens** als Glückszentrum, über das u. a. auch sogenannte Glückshormone in Gang gesetzt werden. Für das hierin entwickelte systemtheoretische Konzept werden beide Funktionseinheiten als abgegrenzte Elemente betrachtet. Darüber hinaus sollen die sensorische Wahrnehmung und Vorverarbeitung von Sinneseindrücken – die **Sensorik** – sowie die motorische Ansteuerung von Körperverhalten – die **Motorik** – als abgegrenzte Elemente betrachtet und in das Konzept einbezogen werden.



**Bild:** Abgegrenzte Funktionseinheiten des Gehirns

Wachstum und Entwicklung des Gehirns tragen zu einer Abgrenzung der oben eingeführten vier Elemente bei. Allerdings ist zugleich von einer Durchlässigkeit für neuronale Reize aus allen Richtungen auszugehen. Die systemtheoretische Betrachtung wird zur Illustration ihrer selbst erweitert um eine Deutung von Wirkzusammenhängen oder inneren Empfindungen an allen Schnittstellen-Kombinationen zwischen den vier Elementen.

	<b>Nucleus accumbens</b>	<b>Amygdala</b>	<b>Sensorik</b>	<b>Motorik</b>
<b>Nucleus accumbens</b>	Gutes zum Nähe-suchen	somatische Hinweise zum <u>Selbst</u>	<u>Glück</u> aus dem Wahrnehmen	<u>Wille</u> zum Handeln
<b>Amygdala</b>		Schlechtes zum Ferne-suchen	<u>Furcht</u> aus dem Wahrnehmen	<u>Stress</u> , Antrieb zur Gefahrenabwehr
<b>Sensorik</b>			Objekt- und Bewegungsmuster Erkennen	Durchzünden von <u>Reflexbögen</u>
<b>Motorik</b>				Handlungsmuster und Routinen Durchsetzen

Zum limbischen System ist bekannt, dass es über das Stammhirn somatisch geprägte Reize aus dem Körper erhält. Damit ergibt sich das funktionale Konzept für eine Steuerung des Gehirns auf Basis gebündelter Feedback-Impulse des Körpers. Gäbe es diese Bündelung über das limbische System nicht, würden sich Antriebe der Gehirntätigkeit aus verteilten und damit eher diffusen sensorischen Eingangsstößen ergeben. Die Zweiteilung gebündelter somatischer Reize auf Amygdala und Nucleus accumbens stellt darüber hinaus eine grundlegende Differenzierung dar. Beiden Signalquellen kann das Gehirn folgen und beide geben Feedback zur Stabilisierung erfolgreicher Wahrnehmungs- und Handlungskonzepte. Im Gegensatz zu den Reptilien können Säugetiere damit gewissermaßen auf Vorrat denken. Sie erdenken Handlungsalternativen als Reaktion auf erlernte Situationen. Dies kann als wesentliche Voraussetzung der Entfaltung ihrer sozialen Natur und differenzierten Verhaltensmuster gesehen werden. Verhaltensmuster werden nicht mehr an unmittelbar erfahrener Belohnung und Bestrafung orientiert sondern an einer neuen und nicht mehr auf das Jetzt beschränkten Differenzierung. Im hierin entwickelten Konzept wird die Summe aller Differenzierungen, die sich aus somatischen Stimuli ergeben und die neuronal wieder zusammengeführt werden können, als **Selbst** bezeichnet. Damit öffnet sich dem Gehirn die Möglichkeit, aus der Korrelation somatischer Reize Wissen über den Körper selbst zu sammeln. Aus systemtheoretischer Sicht benötigt alles Wissen eine Konvention, nach der es geordnet und dadurch wiederverwendbar wird. Mit dem Selbst schafft das limbische System erstmals einen normierten Ausgangspunkt, an dem weiteres Wissen orientiert werden kann. Zwischen Nucleus accumbens, Amygdala, Sensorik und Motorik entwickelt sich damit ein Raum für zeitunabhängiges Wissen – die fünfte Funktionseinheit. Ein abgegrenztes und bewusst unterscheidbares Wissensselement führt zum Begriff der Idee. Im Sinne des Philosophen Platon wird unter einer Idee die reine, unverfälschte Vorstellung von einer Sache verstanden.

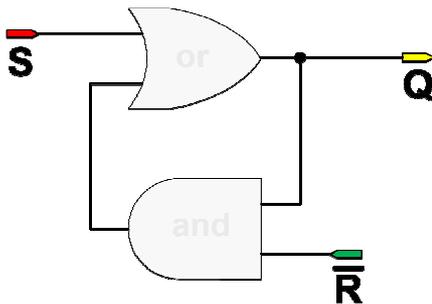
## Gedächtnis und Information

---

Unter Gedächtnis im neurologischen Sinn versteht man die Fähigkeit des Nervensystems von Lebewesen, aufgenommene Informationen zu kodieren, zu speichern und wieder abzurufen. Das Gedächtnis ist der Informationsspeicher des Gehirns. 100 Billionen Synapsen leiten Reize zwischen den rund 100 Milliarden Neuronen weiter. Die Neigung jeder einzelnen Synapse zur Reiz-Weiterleitung trägt dabei zum Gedächtnis bei. Über das ganze Gehirn betrachtet man diese sogenannte synaptische Effizienz als Träger der Informationen, die beliebig verwoben abgebildet sind. Ihr Speichern, Verarbeiten, Abrufen und Vergleichen sind aktive Vorgänge im Gehirn. Eine bestimmte Information bildet sich dabei allerdings stets in derselben Raumverteilung und mit denselben Neuronen ab. Sie lebt sozusagen in einer ihr zugeordneten Reizleitungssituation auf. Das heißt auch, dass Informationen nicht verschoben werden können so wie etwa in der Informationstechnik zwischen Flip-Flops.

Der Reizleitungsweg zwischen einer sensorischen Wahrnehmung und dem daraufhin von außen sichtbaren Verhalten eines Lebewesens wird als Reflexbogen bezeichnet. Würde das Gehirn mit minimalem Verzögern alleine mit fest-vorgeprägten Reflexbögen auf Ereignisse reagieren, würde es sich systemtheoretisch wie ein Schaltnetz verhalten. Es wäre schnell und vorhersehbar. Mustererkennung der Sensorik und Handlungsmuster der Motorik müssten allerdings exakt zueinander passen, um Reflexbögen durchzuzünden. Die Zahl benötigter Reflexbögen und Schaltmuster würde schnell ins Unendliche anwachsen. In Wirklichkeit ist das Gehirn zwar ein Netzwerk, jedoch ein rückgekoppeltes mit nahezu beliebigen Spielarten von Rückkopplungen, die auf nahe und ferne Distanzen wirken. Im ersten Ansatz einfacher Gehirne führt das zur Verwischung von Mustern sowohl auf Seiten der Sensorik, wie auch auf Seiten der Motorik. Das gestattet es dem Gehirn, standardisierte Muster heraus zu prägen, durch welche ähnliche Wahrnehmungen zusammengefasst werden könnten. Auf diese wäre dann mit ebenfalls mehr oder weniger standardisierten Handlungsmustern zu reagieren. Das Konzept der Verwischung reduziert Verhaltensmuster und Reflexbögen auf eine beherrschbare Zahl.

Aus systemtheoretischer Sicht weit interessanter ist die Rückkopplung als solche. Mit ihr besteht das Konzept einer für kurze, aber auch für längere Zeitabschnitte stabilen Kopplung zwischen zwei Stellen im Gehirn. Ein Output einer Stelle, der zum Input an anderer Stelle werden soll, kann in der Schwebe gehalten werden. Das ermöglicht im Prinzip die Verarbeitung verschiedener Informationen, die aus verschiedenen Quellen zusammenlaufen, in einem gemeinsamen Kontext. Die Zwischenspeicherung eines neuronalen Reizes durch das Zusammenwirken mit einem Umfeld, das gerade einen bestimmten Reiz erwartet und sich auf diesen konzentriert, zeigt eine erstaunliche Ähnlichkeit mit dem Konzept des Flip-Flops aus der Informationstechnik. Hier kurz das Prinzip zur Illustration:



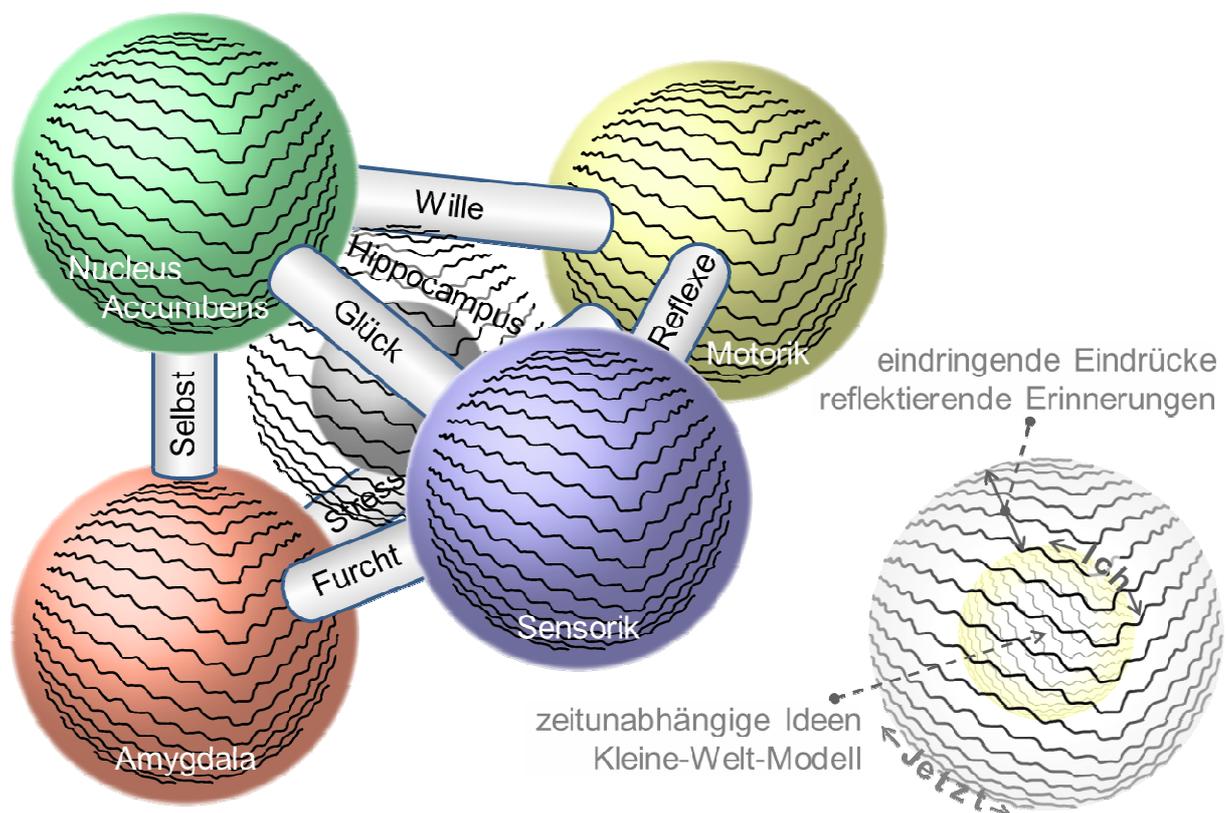
**Bild:** Flip-Flop

Das grundlegende Kopplungskonzept eines Flip-Flops erlaubt es, die Information zu speichern, ob ein Input, hier als „S“ bezeichnet, aktiviert wurde oder nicht. Die eingefangene Information bewirkt eine permanente Aktivierung eines Outputs, hier als „Q“ bezeichnet. Der Zustand des Flip-Flops, bereit für eine Speicherung zu sein, wird über einen zweiten Input gesteuert, der hier als „invertiertes R“ bezeichnet wird. Ein nicht-aktives „invertiertes R“ entkoppelt den Rückkopplungs-Kreislauf des Flip-Flops, welches damit die Fähigkeit zur Stabilisierung der Information über „S“ ausschaltet. Das Aktivieren des „invertierten R“ schließt den Rückkopplungskreislauf und speist „Q“ zurück in das logische Oder-Gatter mit „S“. Damit wird die Information darüber ob „S“ aktiviert wurde auf den kompletten Zeitabschnitt des aktiven Rückkopplungs-Kreislaufes definiert. Sobald „S“ stark genug ist, um durch das Oder- und das Und-Gatter zu gelangen, wird „Q“ permanent aktiv solange der Rückkopplungskreislauf geschlossen bleibt. Die Buchstaben „S“, „R“ und „Q“ entsprechen dem Notationsstandard für Flip-Flops. Die Formulierung zur Beschreibung des Flip-Flops wurde jedoch so gewählt, dass es auch als neuronales Konzept leichter vorstellbar wird. Aus systemtheoretischer Sicht wird damit nachvollziehbar, wie ansonsten flüchtige neuronale Reize in der Schwebe gehalten werden und dass die dazu erforderliche Empfindlichkeit durch separate Einflüsse von beliebiger anderer Stelle aus steuerbar ist. Das Flip-Flop ist nicht ohne Grund das wichtigste Basiselement in der Informationstechnik. Es kann vermutet werden, dass das Prinzip in der Natur ebenso fundamental ist.

## Eindrücke und Erinnerungen

Trotz seiner selbstorganisierten Entstehung leistet das Gehirn Informationsverarbeitung, allerdings mit unübersichtlich verwobener Abbildung von Informationen. Die Fähigkeit des Gehirns, Wissens Elemente als Ideen abzugrenzen und bewusst zu unterscheiden, ist vermutlich die wesentliche Innovation bei der evolutionären Entwicklung des Menschen. Ein Vorteil für das Überleben kann jedoch erst entstehen, wenn aus der Summe aller gespeicherten Ideen ein hinreichend schlüssiges Bild entsteht, das als Kleine-Welt-Modell bezeichnet werden könnte. „Hinreichend“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine Kopplung zwischen den Ideen einerseits und Sensorik und Motorik andererseits erstens möglich ist und zweitens erfolgreichere Reflexbögen ermöglicht. Das besprochene Flip-Flop macht es

leicht vorstellbar, dass die gesuchten Kopplungen mit diesem Konzept grundsätzlich möglich sind. Erfolgreichere Reflexbögen erfordern darüber hinaus eine der Lebenstüchtigkeit angepasste Differenziertheit des Kleine-Welt-Modells. Und das wiederum erfordert eine hohe Leistungsfähigkeit des Gehirns, welche bei der Entwicklung zum Menschen vorangebracht wurde, wie eingangs im Abschnitt zur Topologie bereits angesprochen. Auch der Blick auf moderne Technik zeigt, dass ein Durchbruch in der Informationstechnik, die sogenannte digitale Revolution, erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts mit größeren Fortschritten in der Mikroprozessor-Technik möglich wurde. Ausgangspunkt zur Überwindung des der Fähigkeit zur Differenzierung eher entgegenwirkenden Verwebens neuronaler Informationen ist die Annahme wenigstens einer klaren Abgrenzung zwischen den im Abschnitt zur Topologie vorgestellten fünf Funktionseinheiten des Gehirns. Von diesen sind die Elemente Nucleus accumbens, Amygdala, Sensorik und Motorik nachvollziehbar voneinander abgegrenzt. Es wird angenommen, dass die fünfte Funktionseinheit der zeitunabhängigen Ideen ebenfalls abgegrenzt ist. Unabhängig, wie verwoben die Informationen in der fünften Funktionseinheit sind, wichtig ist vor allem ihre Stabilisierung gegenüber äußeren Einflüssen. Erst so kann das Wesensmerkmal des Menschen mit seiner Fähigkeit zur Bildung eines Kleine-Welt-Modells ausgeprägt werden. Dieses Konzept führt zu der Vorstellung von einem harten Kern der stabilen Ideen. Mit zunehmendem Abstand entsteht dann bis an die Grenzen der vier anderen topologischen Funktionselemente ein fließender Übergangsbereich mit zunehmender Offenheit für Veränderungen. In der hier idealisierten Modellvorstellung sind nur, oder besser: vor allem, in diesem Übergangsbereich Veränderungen der neuronalen Effizienz, also der Veränderung des Zusammenwirkens von Neuronen und Synapsen möglich. Lernen und die Bildung von Gedächtnis findet hier statt. In der nicht idealisierten Realität werden gerade im Wachstum und bei einschneidenden Erfahrungen auch die fünf abgegrenzten Funktionseinheiten modifiziert. Aus der Sicht des Denkens in Modellen spielt das aber keine Rolle, da die Grenzflächen der Funktionseinheiten per Definition des Abgegrenzt-Seins bzgl. ihrer gegenseitigen Wirkungen modelliert sind und in der Wirklichkeit unterschiedlichste kleine und große, ja sogar ineinander verwobene Formen annehmen können.



**Bild:** Vernetzung von Eindrücken und reflektierende Wirkung von Erinnerungen

Im idealen Modell und sicherlich auch in nicht allzu langen Zeitabschnitten kann von einem harten Kern der Ideen, die das Kleine-Welt-Modell bilden, ausgegangen werden. Normierter Ausgangspunkt für alle abgegrenzten Ideen ist das im Abschnitt zur Topologie entwickelte Selbst. Schlussfolgerung daraus ist die, dass der harte Kern der fünften Funktionseinheit überhaupt nur dann hart werden kann, wenn zuerst das Selbst in den stabilen Ideen des Kerns enthalten ist und wenn alle übrigen Ideen am Selbst orientiert sind. Einflüsse aus einem Außen um den Kern sind damit entweder Einflüsse unmittelbar auf das Selbst oder durch das Selbst gefilterte Einflüsse auf die übrigen Ideen. In dieser Modellvorstellung könnte die Hüllfläche des stabilen Kerns als Ich-Ideen bezeichnet werden. Die Stabilität des Kerns spiegelt sich dann gewissermaßen im harten Abprallen aller äußeren Reize am Ich.

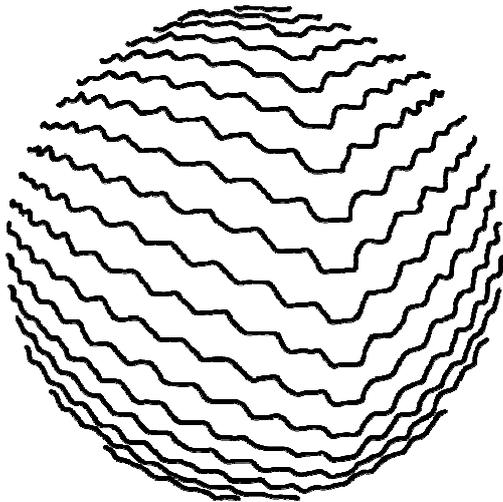
Der Mechanismus des Abprallens lässt sich theoretisch mit dem Konzept des Flip-Flops modellieren. Die trennende Hüllfläche zwischen Kern und Außenbereich wird in dieser Vorstellung aus nebeneinanderliegenden Flip-Flops gebildet, wobei der Kern selbst von außen gesehen eine Blackbox ist. Die R-Eingänge aller Flip-Flops, über welche der Zustand der Speicherbereitschaft eingestellt wird, sind so geordnet, dass diese nach außen zeigen. Das gleiche gilt für alle Q-Ausgänge. Damit können Wirkungen aus dem Außen zwar die Aufmerksamkeit auf bestimmte Teilflächen der Kern-Hülle lenken. Sie bekommen aber nur von den Flip-Flops reflektierte Reize zurück, zu denen Aktivitäten im Kern Wirkungen auf S-Eingänge der Flip-Flops ausüben. Aber auch Flip-Flops, auf die das Außen überhaupt keine Aufmerksamkeit in Form der Aktivierung von R-Eingängen legt, können nach außen wirken, da die Q-Ausgänge alle S-Eingänge durchleiten, allerdings ohne stabilisierende Speicherung. Stabile Aktivitäten und Zustände aus dem Inneren des Kerns können damit jederzeit eine Außenwirkung entfalten. Im Grunde erklärt das Modell des Flip-Flops eine mögliche Form der Kopplung zwischen zwei abgegrenzten Bereichen, die vor allem in Richtung des Kerns nicht zu strukturellen Veränderungen führt. Das Außen beeinflusst in diesem Modell nicht die neuronale Effizienz, also die Verschaltung der Neurone im Kern, sondern nur seine von außen scheinbar zufälligen Aktivierungszustände. In der hier dargestellten Theorie wird angenommen, dass die Fähigkeit des Menschen zur Stabilisierung abgegrenzter Ideen gleichgesetzt werden kann mit einer erfolgreichen Realisierung des Abprallens von neuronalen Reizen in einer Form, die dem Verhalten von Flip-Flops sehr ähnlich ist. Kopplungen werden in dieser Vorstellung über Resonanzen gelebt.

Mit diesem Kniff reduziert sich die Komplexität der vorangegangenen Überlegungen erheblich. Der Übergangsbereich zwischen Ich-Hülle des Kerns der fünften Funktionseinheit und Rest des Gehirns wird nur noch durch zwei neuronale Wirkungen und ihr Zusammenspiel charakterisiert – eine Wirkung zum Abprallen ohne Wirkung auf die neuronale Struktur und eine dem entgegengesetzten Wirkung zur Empfänglichkeit für eine Anpassung der lokalen neuronalen Struktur. Mit zunehmendem Abstand zum Kern nehmen in diesem Modell das Abprallen ab und die Anpassungsbereitschaft zu. In dieser Vorstellung dringen **Eindrücke** von außen in den Übergangsbereich ein und verändern diesen so weit in die Tiefe, bis sie auf reflektierende Resonanzen stoßen. Die dabei hinterlassenen Veränderungen sind nichts weiter als **Erinnerungen**. Dabei leisten die Erinnerungen mit sukzessivem Lernen Kopplungen mit anderen Hirnbereichen. Rückkopplungs-Kreisläufe zwischen situationsbedingt zusammenpassenden Hirnbereichen entstehen. Die Eigen-Stabilität dieser Rückkopplungskreisläufe wirkt ihrerseits einer Anpassungsbereitschaft bzgl. der Einwirkungen von außen entgegen und entwickelt die Fähigkeit zum Abprallen. Damit ist die systematische Grundlage für Lernen und Bildung von Gedächtnis gelegt.

## Hippocampus als Taktgeber des Lernens

---

Das limbische System wurde bereits als Grundlage für die Fähigkeit zur Abgrenzung von Ideen angenommen. Ein weiteres Element des limbischen Systems ist der Hippocampus, dem eine maßgebliche Funktion beim Lernen zugeschrieben wird. Der Einflussbereich des Hippocampus erstreckt sich über das ganze Gehirn. Ausgangspunkt der Überlegung ist der, dass Eindrücke, die von außen und innen in das lernende Gehirn eindringen, im Moment des Eindringens Reizleitungsmuster hinterlassen. Der Hippocampus ist einer der wenigen Bereiche, in dem das Gehirn fortwährend neue Neurone hervorbringt und hochflexibel mit Ab- und Ankoppeln von Synapsen Verbindungen auf- und abbaut. Das bedeutet zunächst, dass ein Lernen innerhalb des Hippocampus äußerst flexibel von statten geht.



**Bild:** Illustration zeitgleicher, aber voneinander entkoppelter Reizleitungsmuster

Nach neuestem Wissen realisiert das Gehirn nicht nur Kopplungen von primären in Richtung sekundärer sensorischer Hirnbereiche, sondern auch Rückkopplungen aus nachgelagerten Zentren in die primären Sensorik-verarbeitenden Bereiche. Bevor es zu Hin- und Rückkopplungen über entfernte Hirnbereiche kommt, die im weiter oben besprochenen Verständnis stabilisierend auf neuronales Verhalten wirken, wird angenommen, dass der Hippocampus durch das ihm eigene schnellere Lernen eine Art Überbrückung leistet. Er springt ein bis neu erlernte Rückkopplungskreisläufe dauerhaft auch ohne sein Mitwirken durch Modifikation des neuronalen Netzes geschlossen werden. Es ist bekannt, dass Ausgangsbereiche sekundärer sensorischer Bereiche in den Eingangsbereich des Hippocampus projizieren, der seinerseits zurück projiziert. Vermutet wird, dass der Hippocampus dabei zur Schaltzentrale für ein übergreifendes Signalwegewissen wird. Voneinander entkoppelte neuronale Bereiche, die Verbindungen zum Hippocampus unterhalten und die im selben Zeitabschnitt von entkoppelten Reizleitungsmustern in einen Aktivierungszustand versetzt werden, können dabei in einen ersten Kontakt treten. Im Hippocampus treffen aktive Rückkopplungen der zunächst entkoppelten Hirnbereiche zusammen und werden, da sie zeitgleich sind, im Hippocampus miteinander verkoppelt. Damit leistet der Hippocampus den ersten Schritt für eine Erinnerung. Wenn in Zukunft nur einer der ursprünglich entkoppelten Hirnbereiche aktiviert ist und entsprechend auch seinen Rückkopplungskreislauf zum Hippocampus aktiviert, so wird über die dort gespeicherte Erinnerung eine Brücke zu dem als verbunden erinnerten Hirnbereich geschlagen. Mit Wiederholungen prägt sich eine Kopplung zwischen den ursprünglich entkoppelten Hirnbereichen aus, die dann im Wege ihrer gegenseitigen Stimulierung immer öfter zeitgleich aktiv sind. Erst zufällige schwache und im weiteren Verlauf mehr und mehr gefestigte direktere Verbindungen können sich dabei zwischen den Bereichen entwickeln. Im zweiten Schritt des Lernens wird die Erinnerung so auch unabhängig vom Hippocampus

gespeichert. Bleibende Erinnerungen werden zu stabilen Querverbindungen zwischen ursprünglich entkoppelten Reizleitungsmustern.

Zu klären ist allein die Frage, wie sich gerade die für das Überleben relevanten Erinnerungen durchsetzen könne. Auch ohne Querverbindungen könnten ja bereits die ursprünglichen Reizleitungsmuster zu einem erfolgreichen Verhalten des Lebewesens führen. Allerdings erscheint dabei gerade die Neuentwicklung erfolgreicher Verhaltensmustern als äußerst unwahrscheinlich, da sich diese schon lange vor ihrer Festigung im ständigen Verdrängungs-Wettkampf mit konkurrierenden Ressourcenverbrauchern im Gehirn befänden. Das zweistufige Konzept des Lernens mit vorgeschaltetem Hippocampus zwingt eine Erinnerung im ersten Schritt nur dazu, sich alleine im Umfeld des Hippocampus zu behaupten. Im Zusammenspiel mit bereits stabilisierten Rückkopplungen, die der Hippocampus unterhält, zeigt sich dabei, ob sich eine neue Erinnerung ausbalancieren und integrieren lässt. Nicht erfolgversprechenden Erinnerungen wird dabei von vornherein entgegen gewirkt. Natürlich können Erinnerung in einem späteren Lernstadium auch überlagert und verdrängt werden. Etwa wenn diese Ressourcen binden, die durch dominantere oder ggf. erfolgreichere Aktivitäten in Anspruch genommen werden. Im Hippocampus vollzieht sich aber eine Vorsortierung, durch die neue Erinnerungen vor allem dann zum Zuge kommen, wenn diese auch zur Stabilität des Ganzen passen. Eine integrierbare Erinnerung zeichnet sich gewissermaßen durch neues Wissen und zugleich stabilisierende Eigenschaften aus, welches nur im Doppelpack zu haben ist. Neurologische Erkenntnisse bestätigen die Schlüsselrolle des Hippocampus für das Gedächtnis. So ist bekannt, dass das Erlernen von bewusstem Wissen nach operativer Entfernung beider Hippocampi erheblich beeinträchtigt wird bzw. nicht mehr möglich ist.

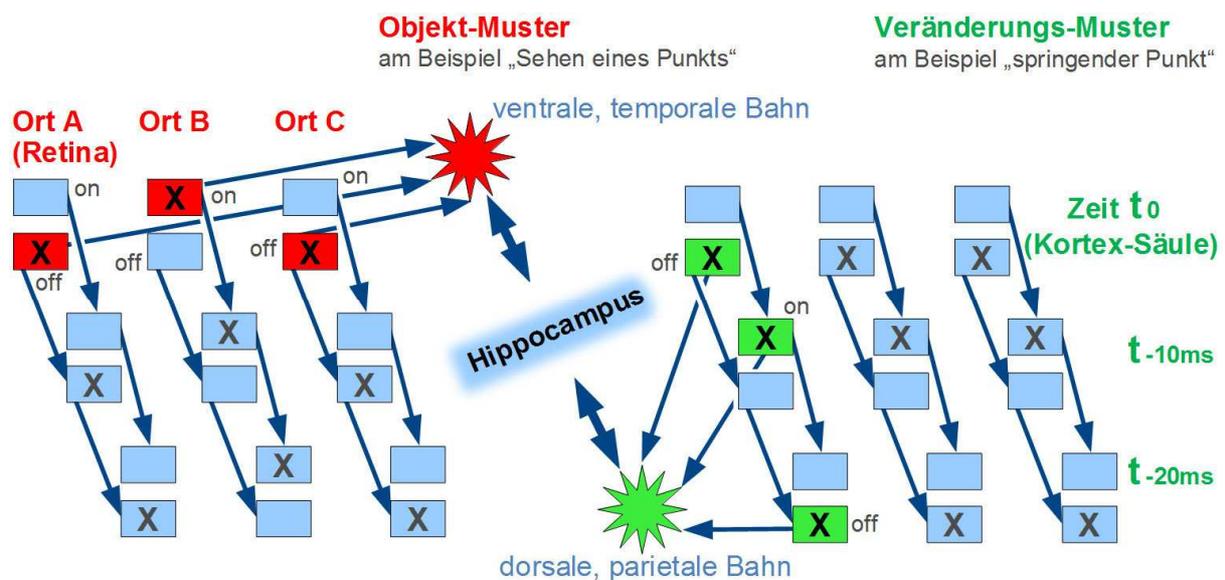
## Strukturentwicklung des Gehirns im Wachstum

---

Es ist anzunehmen, dass die Prinzipien von Erinnerungen und Lernen auch im Wachstum bei der funktionalen Entfaltung des Gehirns zum Zuge kommen. Gut erforscht sind heute vor allem Funktionen der primären Sensorik, die Hinweise darauf geben. Besonders das visuelle System ist bezüglich der Zerlegung in spezifische Teilinformationen tiefgehend erforscht. Fast alle der über eine Million Ganglienzellen pro Auge projizieren zu einem Genuculatum im Thalamus. Das Genuculatum gibt es zweimal, eines je Gehirnhälfte, es besteht aus sechs übereinanderliegenden Zellkörperschichten. In der Retina werden aus den Signalen der drei Zapfen drei Gegenfarbsignale, welche den sogenannten rot-grünen, blau-gelben und schwarz-weißen Farbmechanismus bilden. Weiterhin unterscheiden sich retinale Ganglienzellen in zwei Typen: Etwa die Hälfte der Ganglienzellen sind On-Zentrum-Ganglienzellen, die durch einen auf ihr Zentrum fallenden Lichtreiz erregt und durch Beleuchtung ihres ringförmigen Umfelds gehemmt werden. Die andere Hälfte sind Off-Zentrum-Ganglienzellen, welche durch einen zentralen Lichtreiz gehemmt und eine reine Umfeldbeleuchtung erregt werden. Bildpunkteraster der Retina und Sortierung in farbbezogene und On-/Off-Zentrum bezogene Signale bleiben mit Hilfe der sechs Ebenen im Genuculatum erhalten. Die Position im Gesichtsfeld bleibt darüber hinaus auch im primären visuellen Kortex über mehrere Ebenen von Neuronen separiert. Die 1,5 Millionen Axone der Genuculatumneurone projizieren als Sehstrang in unterschiedliche Bereiche der Eingangsschicht des primären visuellen Kortex. Im primären visuellen Kortex (V1) antworten V1-Neurone anders als die Neurone in der Retina oder im Genuculatum nur schwach oder gar nicht auf punktförmige Lichtreize, aber heftig auf kurze Lichtstreifen. Die Zentren der rezeptiven Felder von übereinander liegenden Neuronen befinden sich an derselben Position im Gesichtsfeld und diese Neurone bevorzugen dieselbe Reizorientierung. Tangential zur Kortexoberfläche ändert sich die bevorzugte Reizorientierung in kontinuierlichen Schritten. Orientierungssäulen sind etwa 30-100 µm breit. Für V1 konnte eine regelmäßige windmühlenartige Anordnung der Orientierungssäulen um ein in der Mitte liegendes Zentrum nachgewiesen werden. Im Ergebnis scheint der visuelle Kortex aus Säulensystemen zu bestehen, welche durch drei

Merkmale bestimmt sind: 1. Nach der Position des rezeptiven Feldes (Positionssäulen), 2. Nach der Augendominanz, 3. Nach der Orientierung streifenförmiger Reize (Quelle für neurologisches Wissen zum visuellen System: [www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm](http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm), Karl R. Gegenfurtner, Sebastian Walter und Doris I. Braun).

Die Grundlagen des visuellen Systems zeigen bereits die Vorstufe für eine generelle Differenzierung in die Erkennung von Objektmustern einerseits und von Bewegungsmustern andererseits. Der springende Punkt ist, dass für die Weiterverarbeitung zwei entsprechende Richtungen zu dem jeweils passenden sekundären Sensorik-Zentrum ausgebildet werden. Das sekundäre Sensorikareal für Objektmuster wird über die sogenannte ventrale, temporale Bahn erreicht (auch: Was-Bahn). Die Sensorik für Bewegungsmuster wird über die dorsale, parietale Bahn erreicht (auch: Wo-Bahn). In einer vereinfachten Darstellung lässt sich das Prinzip illustrieren. Ein Set an Neuronen, die etwa Orte auf der Retina repräsentieren, kann passend zu einem Objekt-Muster kombiniert werden und in ein bündelndes Neuron projizieren. Dieses projiziert in Richtung ventraler, temporalen Bahn weiter. Für ein Bewegungsmuster wird entsprechend gezielt auch eine andere Richtung gewählt: Aus hintereinander verschalteten Neuronen, die etwa in derselben visuellen Kortex-Säule liegen und einen Zeitablauf bilden, kann per Auswahl ein Veränderungsmuster kombiniert werden. Das bündelnde Muster-Neuron projiziert in Richtung dorsaler, parietaler Bahn weiter.



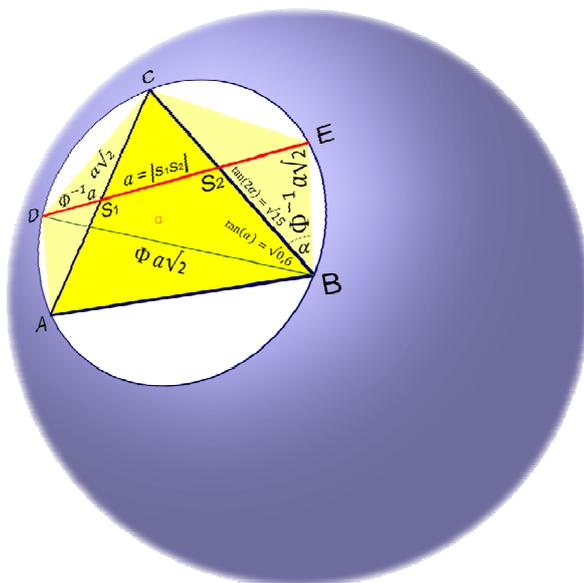
**Bild:** Mustererkennung und differenzierte Bahnen zu separaten Weiterverarbeitungs-Arealen

Es ist vorstellbar, dass eine Ausprägung dieser Bahnen und damit die Strukturentwicklung innerhalb des Gehirns während des Wachstums durch die Prinzipien des Lernens unterstützt werden. Dabei würde die stabilisierende Funktion des Hippocampus vor Fehlentwicklungen schützen. Dies ließe sich etwa mit der Annahme erklären, dass erfolgreiche Wahrnehmung eine Entweder-oder-Konzentration auf Objekte oder Bewegungen voraussetzt. Damit wäre verbunden, dass entweder die Gleichzeitigkeit einer Mehrzahl von Objektmuster-Reizen oder von Bewegungsmuster-Reizen immer mehr zum Regelfall würde. Die zur Stabilisierung zwingende Zwischenschaltung des Hippocampus würde dann fehlgeleiteten Reizen der jeweils anderen Mustererkennung entgegenwirken. Ein einmal vorhandenes Übergewicht, das initial etwa durch Trial-and-Error entstanden sein könnte, würde die Fähigkeit zur Konzentration auf eine der beiden Mustererkennungsarten weiter verbessern. Nach demselben Prinzip würden parallel dazu auch die anzukoppelnden passenden Areale der sekundären Sensorik und ihre Anbindung an die primäre Sensorik nach und nach gefestigt.

## Spezialisierung der Gehirnhälften

Exkurs: Die Stärke einer verwoben dargestellten Information ergibt sich nicht an einer einzigen Stelle im Gehirn. Selbst nach Zerstörung neuronaler Bereiche lassen sich viele Informationen wiederherstellen. Ihre Stärke ergibt sich aus der Passgenauigkeit mit einem ihr zugeordneten Muster. In der Mathematik wird beim Faltungsintegral die Korrelation zwischen einer Funktion und einer gegen zu prüfenden Musterfunktion durch punktweises Multiplizieren beider Funktionen und Integration ermittelt. Interessant sind Musterfunktionen, die orthogonal zueinander sind. Diese Funktionen kommen sich gegenseitig nicht ins Gehege. Ihre Orthogonalität untereinander stellt sicher, dass sie bis zur Unkenntlichkeit überlagert werden können und in Zukunft trotzdem per Faltungsintegral differenziert ermittelbar bleiben. Eine bemerkenswerte Gruppe orthogonaler Funktionen sind Schwingungsverläufe. Mit dem Exkurs wird ansatzweise nachvollziehbar, dass eine systematische Abbildung differenzierbarer Informationen uneingeschränkt möglich ist, auch wenn diese verwoben sind.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde systemtheoretischen Grundlagen der selbstorganisierenden Entwicklung von Informationsverarbeitung nachgegangen. Kurz gefasst dringen permanent Eindrücke in das Gehirn ein, die auf ihrem Weg in die Tiefe irgendwann abprallen und nicht mehr weiterkommen. Auf diesem Weg treffen sie auf Resonanzen mit zu ihnen passenden Erinnerungen. Durch dabei aufgebaute Verkopplungen werden entfernte Hirnbereiche stimuliert. Zentraler Mechanismus ist die Kopplungswirkung der Resonanzen, mit denen Eindrücke und Erinnerungen ihre gegenseitige Korrelation zur Wirkung bringen. Mit dieser Anschauung ist jede im neuronalen Netz „programmierte“ Korrelation Bestandteil einer Information. Ihre verkoppelnde Wirkung zeigt an, dass sie gerade aktiv genutzt wird. Die Natur der neuronalen Speicherung ist, dass Informationen verteilt und verwoben über das ganze Gehirn programmiert sind. Bestandteile von Informationen müssen das sehr wohl nicht sein. Sie können als Attribute von Informationen im neuronalen Netz räumlich festgelegt sein. Hiermit werden auch Beobachtungen in der Psychologie zur Spezialisierung beider Gehirnhälften plausibel. Die linke Gehirnhälfte speichert tendenziell auf **Zeitabläufe**, Logik und Sprache ausgerichtete Informationsbestandteile. Die Rechte spezialisiert sich im Gegensatz dazu auf **Raumvorstellung**, Überblick und Gesichtserkennung. Erneut liegt es nahe, dass der Hippocampus auch hier stabilisierend mitwirkt. Eine zeitweise Konzentration entweder auf Zeitabläufe oder auf Raumvorstellung kann leicht als durchsetzungsstarkes Konzept erkannt werden. Zugleich wirkt die auf den Corpus Calosum (auch: Balken) begrenzte Verbindung zwischen linker und rechter Hirnhälfte dem verschwenderischen Verkoppeln von links und rechts entgegen. Das ist ein wichtiger Faktor zur Selektion des stärksten Konzepts.



**Bild:** Linke Gehirnhälfte stärkt Mathematik.

## Kontingenz

---

Mit den bisher in diesem Artikel angestellten Überlegungen wurde dem mit Ich-Ideen umhüllten Kern des sogenannten Kleine-Welt-Modells nicht auf den Leib gerückt. Damit wird die Grenze zu einem atemberaubenden Freiraum für philosophische Überlegungen gezogen. Was treibt die inneren Aktivitäten im Kern? Wie wirken abprallende Eindrücke auf die inneren Aktivitäten ein? Und wie wirken die inneren Aktivitäten auf die Umsetzung der abprallenden Eindrücke in sinnvolle Verhaltensmuster? Entfalten sich hier Bewusstsein und Kontrolle des ganzen Menschen? Ist die strukturelle Stabilität des Kerns mit einer dem entgegengesetzten Unvorhersehbarkeit innerer Signalzustände gepaart? Spielt sogar die moderne Physik Maxwells, Plancks, Einsteins, Schrödingers, Heisenbergs, Diracs und anderer eine Rolle? Hier ist die Grenze. Von außen betrachtet zeigen sich die Signalzustände des Kerns der fünften Funktionseinheit als unteilbare Einheit oder im Sinne der Philosophie von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) als sogenannte Monade, die so wie sie ist hinzunehmen ist.

Auf beiden Seiten der Grenze zwischen Kern der Ideen und Außenwelt besteht Gleichberechtigung der Beobachter-Standpunkte. Von innen betrachtet ist die Welt bis zu einem gewissen Grad vorstellbar und Wirkungen von außen nach innen zum Teil vorhersehbar. Nicht Vorhersehbares kann nur als Zufall von Umwelt und Evolution hingenommen werden. Hierzu wurde in Philosophie und Wissenschaft der Begriff der Kontingenz geprägt, die kurzgefasst den Status gegebener Tatsachen ausdrückt, die einfach so sind wie sie sind. Kontingenz beschreibt eine nicht beeinflussbare Wirkung, deren Eintreten möglich ist wie zugleich auch deren Nicht-Eintreten. Von außen betrachtet sind das Verhalten und die Wirkungen von innen nach außen gleichsam zum Teil vorhersehbar. Unvorhersehbares zeigt sich als eine Art innere Kontingenz, die auch als Selbständigkeit interpretiert werden könnte. Aus beiden Perspektiven, von innen und von außen, muss eine Kontingenz der jeweils anderen Seite hingenommen werden. Am Ort und in Bezug auf die Hülle der Ich-Ideen gibt es daher keine absolute Wirklichkeit. Beim Ich-Bild sind der Phantasie keine Grenzen gesetzt: Ich mach mir mein Ich, so wie es mir gefällt. Das darin eingeschlossene Kleine-Welt-Modell sollte allerdings nicht so ganz nach dem Pippi-Langstrumpf-Prinzip aufgebaut sein.

