

# Theorie des rationalen Denkens

⇒ Dieser Artikel behandelt den Informationsaustausch zwischen beiden Hemisphären des Gehirns und stellt den Zusammenhang mit einem ganzheitlichen Denken her. Die Repräsentation von Inhalten ist ein Ansatzpunkt. Daran setzt die Theorie der Verarbeitung von im nachrichtentechnischen Sinn kodierten Signalen an. Ausgehend vom medizinischen Wissen über Verbindungen zwischen funktionalen Bereichen werden die funktionellen Asymmetrien im Gehirn und differenzierende Projektionsfelder zur Überprüfung der Theorie herangezogen.

Lebensformen und ihre Eigenschaften entwickeln sich selbstorganisiert. Auffallend dabei ist, dass sich mit dem Evolutionsschritt zu bilateral-symmetrischen Körperformen vor rund 540 Millionen Jahren eine explosionsartige Weiterentwicklung vollzog. Grundlagen waren Symmetrie und Zentrales Nervensystem (siehe „Kerngedanke der Theorie“ im zweiten Kapitel). Damit wird die Frage eines ganzheitlichen Funktionierens interessant.

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Einordnung
- 2 Vorüberlegungen zur Theorie
- 3 Was bedeutet Information im Gehirn
- 4 Das logische Und der Motorik
- 5 Das Flip-Flop im Gehirn
- 6 Höherentwickelte Gehirne speichern besser
- 7 Lernen und Differenzieren
- 8 Authentizität von Informationen
- 9 Wissens-Beitrag des Sehens
- 10 Spezialisierung der Gehirnhälften

## Einordnung

Nervenzellen, auch Neurone genannt, senden Signale und verbinden sich über das zentrale Nervensystem zu einer leistungsfähigen Einheit. Sie schaffen im Grunde die nachrichtentechnische Grundlage für eines der wesentlichen Erkennungsmerkmale einer höheren Lebensform – die Fähigkeit auf Reize aus der Umwelt zu reagieren. Auf den ersten Blick scheint eine technisch inspirierte Einordnung des Denkens jedoch keine neuen Erkenntnisse zu versprechen. Im Austausch elektrischer Signale, oder auch biochemischer Botenstoffe, zwischen den Neuronen scheint sich ein technisch-wissenschaftlicher Zugang zu erschöpfen. Dass dem nicht so ist, soll im Folgenden gezeigt werden. Obwohl Evolution und Natur einen langen Weg hinter sich gebracht haben. Und obwohl die Erfindungen der Natur scheinbar untrennbar ineinandergreifen gibt es einen Schlüssel zur Lösung des Rätsels. Dabei hat die Grundlage des rationalen Denkens nun doch mehr mit Mathematik und Nachrichtentechnik zu tun.

## Vorüberlegungen zur Theorie

---

Eine wesentliche Grundlage der Theorie des rationalen Denkens sind die direkten Verbindungen zwischen vor allem gleichartigen Gehirnbereichen beider Hemisphären über Kommissuren. Die stärkste Verbindung mit über 200 Millionen Nervenfasern ist der sogenannte Balken. Eine weitere wichtige Verbindung ist die Commissura fornicis, die den sogenannten Papez-Kreis beider Seiten verkoppelt. Mit zwei hierzu separaten Artikeln wird medizinisches Grundwissen zusammengefasst. Es wird zugespitzt, dass symmetrischer Körperbau und Gehirn Wegbereiter der Evolution zu höherentwickeltem Leben waren.

Der Artikel „Symmetrie und Sehen“ behandelt den Zusammenhang zwischen bilateraler Symmetrie und dem Sehsinn mit zwei Augen. Wichtige Beobachtungen von Funktionen der am Sehen beteiligten Nervenzellen, Verlauf der Nervenbahnen und Aufgabe der Verarbeitungszentren werden im Zusammenhang mit dem symmetrischen Auftreten von Augenpaaren betrachtet (<https://www.kruegerGold.de/Texte/2021-Symmetrie-und-Sehen.pdf>).

Der Artikel „Gehirn – Funktion und Verschaltungen“ behandelt den Zusammenhang zwischen den grundlegenden Verschaltungen der funktionalen Bereiche mit dem ebenso grundlegenden Funktionieren des Gehirns als Ganzes. Es ist Schalteinheit zwischen Wahrnehmung und motorischer Reaktion auf Reize. Oder auch: Entscheidungsinstanz zwischen Erkennen und Handeln (<https://www.kruegerGold.de/Texte/2021-Gehirn-Verschaltung-Funktion.pdf>).

In diesem Artikel wird abgeleitet, dass Signale, die zwischen der linken und rechten Hemisphäre des Gehirns ausgetauscht werden, in der Startphase der Gehirnentwicklung einen notwendigen Sinn ergeben, weil sie von einem wesensgleichen symmetrischen Partnerareal am Sendeort ausgehen. Rückkopplungen und zeitgleiche Aktivierung von Neuronen und Arealen auf beiden Seiten des Gehirns führen auf Dauer zu einer Festigung. Verbindungen über vielgenutzte Nervenfasern verstärken sich. Signale, die ohne einen Sinn-Zusammenhang ausgetauscht werden, erfahren keine Verstärkung und entwickeln sich zurück. Plausibel wird dieser Gedanke bei der Analyse der Verschaltung von somatosensorischen Signalen über das Rückenmark zum Gehirn, siehe separater Artikel „Gehirn – Funktion und Verschaltungen“.

Das führt zum Kerngedanken der Theorie. Die Wesensgleichheit, die für Organe und Gehirnareale auf beiden Seiten der Symmetrieebene gilt, ist eine Startbedingung. Danach werden nach und nach trennscharfe Verbindungen zwischen Projektionsfeldern ausgebaut. Es findet ein Lernen statt. Basis sind fünf Überlegungen.

1. Beide Gehirnhälften verarbeiten Reizleitungsmuster des ganzen Gehirns.
2. An zentraler Stelle im Säugerhirn wird – mit Hilfe des Papez-Kreises – ein im Augenblick wirksamer Entscheidungs- und Bewusstseinszustand abgebildet. Eingänge repräsentieren weite Teile der Sensorik und Vorverarbeitung. Ausgänge wirken auf die Motorik.
3. Der Papez-Kreis bildet ein gleichberechtigtes Nebeneinander von Signalen ab, mit dem die von beiden Gehirnhälften kodierten Informationen erneut kodiert werden. Inputs werden zusammengeführt und über zusätzliche Signalkreisläufe zwischengespeichert.
4. Sinne und Wahrnehmung unterstützen neue und im Gehirn selbst entstehende Gegenstände durch eine auf getrennte Bahnen verzweigende Vorverarbeitung, die mit zeitlich und räumlich differenzierenden Abbildungsverfahren zwei Perspektiven schafft.
5. Die Gehirnhälften senden kreuzende Signale, die denselben Gegenstand des Denkens beschreiben können, diesen aber unterschiedlich bearbeiten. So filtert und differenziert etwas die linke Seite bevorzugt nach einem zeitlichen Nacheinander, die rechte Seite nach einem räumlichen Auseinander.

## Was bedeutet Information im Gehirn

---

Trotz seiner selbstorganisierten Entstehung leistet das Gehirn Informationsverarbeitung. Es kann Informationen speichern, verarbeiten und wieder abrufen. Dieses Speichern, Verarbeiten und Abrufen sind aktive Vorgänge mit weit-verzweigten Nervenreizen im Gehirn. Eine bestimmte Information bildet sich bei ihr zugeordneten aktiven Vorgängen in derselben räumlichen Verteilung und mit denselben Neuronen ab. Die Information lebt im Grunde in einem ihr eindeutig zuzuordnenden Reizleitungsmuster auf. Das ist zugleich auch ein bemerkenswerter Unterschied zur Arbeitsweise elektronischer IT-Systeme, wo Informationen von einem Speicherort zum anderen verschoben werden. Das Gehirn arbeitet auf seine eigene Art und Weise. Eine Information wird gespeichert, wenn das ihr zuzuordnende Reizleitungsmuster durch starke Intensität eines Ereignisses, häufige Wiederholung oder Langzeitpotenzierung eingebrannt wird. Einmal eingebrannt ist das Muster reproduzierbar, es kann zum erneuten Aufleben gebracht und damit abgerufen werden. Es kann über längere Zeit und durch Überlagerung mit neueren Informationen verblassen. Verarbeitet werden Informationen durch die Verknüpfung mit anderen Reizleitungsmustern. Abgerufen werden sie, wenn verknüpfte Informationen aktiviert sind. Ihr Informationsinhalt besteht in der Gewichtung der einzelnen Verknüpfungen mit anderen Informationen im Gehirn.

Die Verfügbarkeit 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. Exkurs ... hier hilft die Mathematik zum besseren Verständnis. 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. Komplexität und Einmaligkeit des Musters verhelfen dazu, dass es bis zur Unkenntlichkeit überlagert werden kann und in Zukunft per Faltungsintegral differenziert wiederzuerkennen bleibt. Genau dasselbe gilt auch für die mit Reizleitungsmustern kodierten Informationen des Gehirns. Allerdings startet der Veränderungsprozess eines breit angelegten Reizleitungsmusters sofort nach seinem Einbrennen. Erinnerungen werden fortlaufend durch neue Eindrücke ergänzt und überlagert. Nicht „vergessbare“ Informationen können nur solche sein, die sich auch verschriftlichen oder in zählbare Kategorien einteilen lassen ... Begriffe aus einer festgelegten Wertemenge. Andere Eindrücke werden schleichend durch Neues ersetzt.

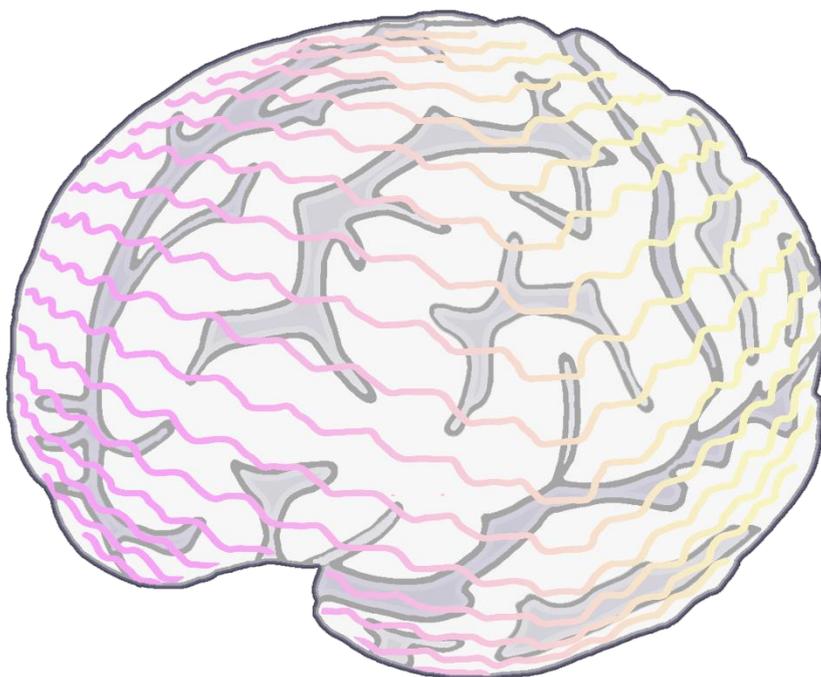


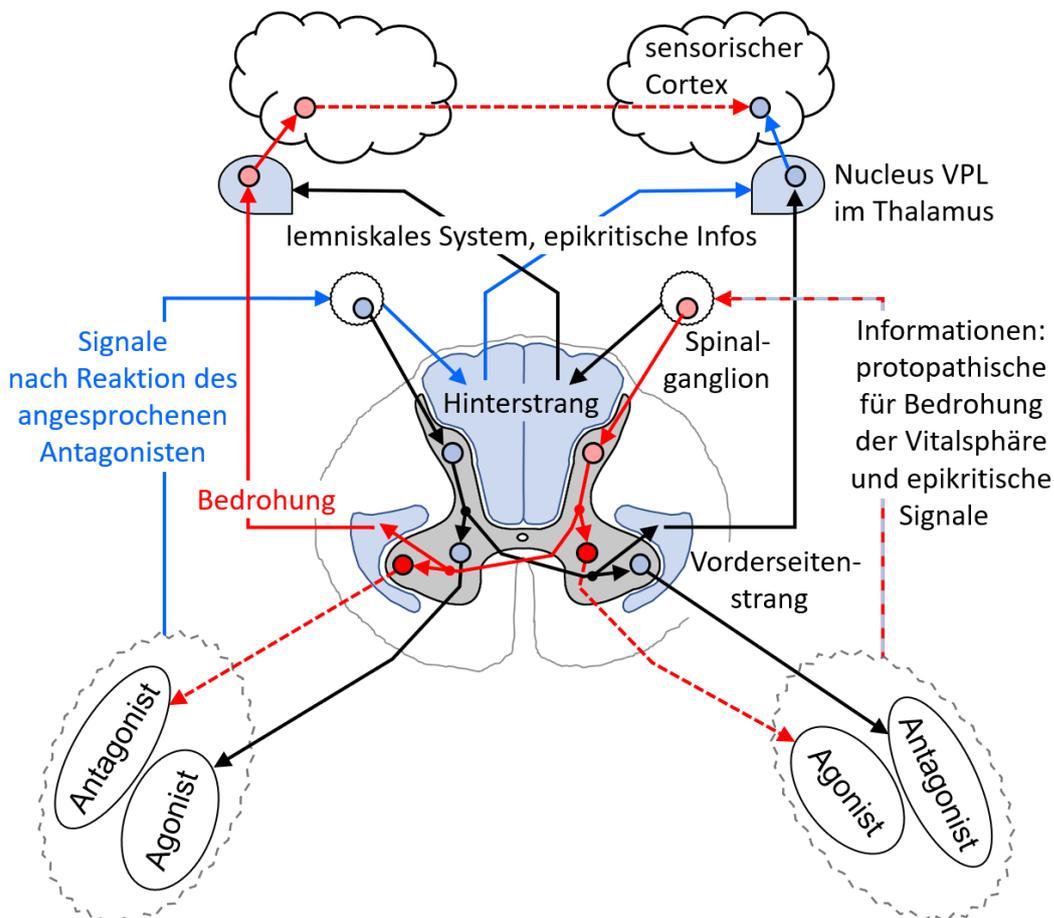
Bild: Reizleitungsmuster ist Abbild einer über das gesamte Gehirn verwobenen Information

Unter Gedächtnis im neurologischen Sinn versteht man also die Fähigkeit des Nervensystems von Lebewesen, aufgenommene Informationen zu kodieren. 100 Billionen Synapsen leiten Reize zwischen rund 100 Milliarden Neuronen weiter und realisieren so Informationsspeicher und -Verarbeitung in einer geschlossenen Einheit. Die Neigung jeder einzelnen Synapse zur Reiz-Weiterleitung trägt zum Gedächtnis bei. Neuronales Informationsverarbeiten ist im mathematischen Sinn ein Abbildungsverfahren, über welches Informationen mit unterschiedlichen Inhalten in unterschiedliche Reizleitungsmuster abgebildet oder besser: kodiert werden.

## Das logische Und der Motorik

Die generelle Logik des Gehirns besteht in der Nutzung der Sinne und der Wahrnehmung für ein Erkennen seiner Situation – im einfachsten Fall durch Einordnung als Gefahren und Nahrungsangebote. Das ist die eine Seite, die Sensorik mit daraus abgeleiteten Assoziationen. Der Wahrnehmung gegenüber liegen Handeln und Reagieren des Lebewesens auf Reize der Umwelt. Damit wird der Sensorik eine Motorik zur Seite gestellt, die Bewegungen steuert und der Situation folgt. Im einfachsten Fall durch Flucht vor einer Gefahr, Einholen von Nahrung oder auch nur Wohlfühlen. Es liegt auf der Hand, dass ein cleveres Lebewesen möglichst viel Wissen einbezieht und sein Handeln möglichst gut kontrolliert. Der Artikel „Gehirn – Funktion und Verschaltungen“ beschreibt die Technik der Natur, wie Sensorik und Motorik voneinander entkoppelt werden, so dass ein Denken vor dem Handeln überhaupt erst eine Chance erhält.

Die Motorik, also das Auslösen eines Reizes über ein Motoneuron, welchem die Bewegung durch einen Muskel nachfolgt, soll demnach gesteuert und nicht kopflos aktiv werden. Ausnahmen sind schnelle Muskelreaktionen durch Verschaltung auf Ebene des Rückenmarks.



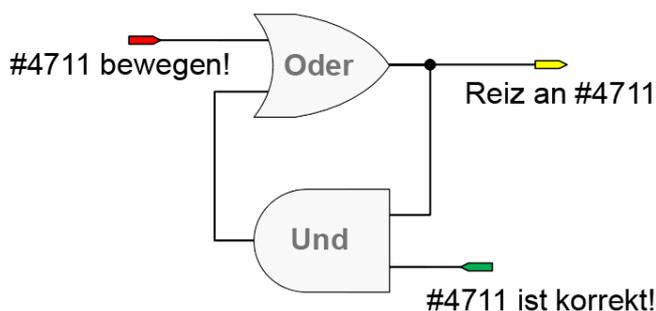
**Bild:** Verschaltung somatosensorischer Signale über das Rückenmark zum Gehirn

Reaktionen, die nicht Reflexen, sondern dem Gehirn folgen, benötigen eine logische Schaltung. Diese ist mit einem passenden Baustein elektronischer Systeme vergleichbar. Zwei Bedingungen müssen für das Auslösen eines Motoneurons gleichzeitig erfüllt sein, also wahr sein. Die eine Bedingung ließe sich mit „Muskel #4711 soll bewegt werden ...“ formulieren. Die andere mit „die der anfordernden Hemisphäre gegenüberliegende Gehirnhälfte bestätigt Muskel #4711 als korrektes Ziel der Aktivität ...“. Der Trick im Zusammenspiel dieser beiden Bedingungen liegt darin, dass sich die Hemisphären des Gehirns in der Startphase der Gehirnentwicklung gegenseitig in Bezug auf wesensgleiche Körperteile ansprechen können. Diese Verkopplung – im Bild oben als rot-gestrichelte Linie dargestellt – wird beim Erlernen des Was-ist-wo des Körpers eingebannt. Für das Was-ist-wo der Sensorik gibt es ein eigenes Areal der Hirnrinde, den somatosensorischen Cortex. Das Was-ist-wo der Motorik mit allen Motoneuronen auf oberster Ebene liegt neben der Sensorik im motorischen Cortex, allerdings getrennt durch die Zentralfurche, die das Gehirn in einen vorderen und hinteren Bereich gliedert.

Die Steuerung der Motorik läuft bei der Verarbeitung im Gehirn über den mit neuronalen Mitteln abgebildeten Baustein eines sogenannten logischen Und. Das Und hat zwei Eingänge und einen Ausgang. Der Ausgang übernimmt den Wert „wahr“, wenn an beiden Eingängen gleichzeitig ebenfalls „wahr“ anliegt. Bei „wahr“ am Ausgang erfolgt der Muskel-Reiz.

## Das Flip-Flop im Gehirn

Das grundlegende Kopplungskonzept eines Flip-Flops erlaubt es, eine Information – in diesem Fall ein Kommando – vorübergehend zu speichern.



**Bild:** Flip-Flop im Gehirn steuert Muskel

Das Kommando muss nicht dauerhaft anliegen, es genügt ein kurzer Impuls. Der Zustand des Flip-Flops, bereit für eine Speicherung zu sein, wird über einen zweiten Input gesteuert, im Bild auf der rechten Seite dargestellt. Die Speicherung wird durch einen Signalkreislauf am Leben gehalten. Erst wenn sich der Bereitschaftszustand des Flip-Flops durch ein Nachlassen des zweiten Input ändert, wird das ursprüngliche Kommando nicht weiter gespeichert. Für die logische Schaltung des Flip-Flops wird neben dem bereits oben behandelten Und ein weiterer Baustein benötigt, das logische Oder. Für den Wert „wahr“ am Ausgang genügt es, wenn eines der Input-Signale „wahr“ ist. Das Flip-Flop ist nicht ohne Grund das wichtigste Basiselement der Informationstechnik. Hier zeigt sich, dass das Prinzip in der Natur ebenso fundamental ist.

Beide Gehirnhälften, die linke und die rechte, müssen jeweils eine Vorstellung haben vom Muskel #4711 auf der linken und ebenso eine vom spiegelbildlich gegenüberliegenden Muskel #4812 auf der rechten Körperseite. Nur so kann ihr Zusammenwirken die Bedingung für das Aktivieren des linken oder rechten Motoneurons dieser Muskeln sein. Der Artikel „Gehirn – Funktion und Verschaltungen“ hat das Erlernen des Was-ist-Wo des Körpers in Bezug auf den somatosensorischen Cortex behandelt. Hier wird nun die Ergänzung für den Motor-Cortex deutlich. Auslöse-Vorgänge für bewusste Muskelbewegungen binden den Motor-Cortex – punktuell etwa an der Stelle #4711 – ein und verkoppeln ihn mit dem Wissen, das über sensible Signale eingebannt wird, die ihrerseits eine direkte Folge der ausgelösten Bewegung sind.

## Höherentwickelte Gehirne speichern besser

Die Aufgabe des Trennens von Motorik und Sensorik in Verbindung mit dem Einbeziehen beider Gehirnhälften vor Aktivieren der Motorik ist allen Gehirnen gemeinsam. Auch primitive Gehirne müssen über irgendwie geartete Signalkreisläufe eine Art neurologisches Flip-Flop zustande bringen. Höherentwickelte Gehirne unterscheiden sich dadurch, dass sie das Entkoppeln und Zwischenspeichern von Kommandos und später auch das Speichern von Wissen schrittweise verbessern. Ein bedeutender Schritt der Evolution der Gehirne vollzog sich mit Entstehung des limbischen Systems in der Phase der Entwicklung der Säugetiere.

Ein wichtiges Merkmal, das mit dem limbischen System hinzutritt, ist eine zusätzliche Entkopplung neben der von Sensorik und Motorik. Die Abbildung von Informationen per Reizleitungsmuster im gesamten Gehirn wird entkoppelt von einer neuen nachgelagerten Abbildung gleichartiger Informationen, die über den sogenannten Papez-Kreis des limbischen Systems eingefangen und vorübergehend auch in einer Art Arbeitsgedächtnis gespeichert bleiben. Die auf den voneinander entkoppelten Ebenen kodierten Informationen können nicht dieselben Informationen sein und sie sind es auch nicht. Sie sind allerdings im Sinne von Kommandos und Entscheidungszuständen gleich und lassen sich hin- und zurück-kodieren. Über den Papez-Kreis, der auf beiden Körperseiten zu finden ist und der mit der gegenüberliegenden Hemisphäre direkt verbunden ist, bilden nacheinander verschaltete Neurone einen geschlossenen Signalkreislauf. Die Anzahl der beteiligten parallelen Nervenfasern liegt in der Größenordnung von Millionen und legt damit die Menge an Informationen fest, die gewissermaßen hineinpassen. Diese Informationen des Papez-Kreises begrenzen dann auch genau das, was ein Mensch bewusst wahrnimmt.

Im Sinne der Systemtechnik und veranschaulicht mit dem logischen Bild des Flip-Flops leistet das limbische System die Rückkopplungspfade des Systems, die das Zwischenspeichern realisieren. Ebenso entscheidend aber ist die Entkopplung zwischen dem Eingang und dem Ausgang des logischen Und. Am Eingang liegen die Gehirn-weiten Reizleitungsmuster als Input an und am Ausgang wird der Papez-Kreis mit den dann neu kodierten Informationen gespeist. Aus dem Papez-Kreis wieder raus geht es im Bild des Flip-Flops über das logische Oder. In der neurologischen Realisierung sind es vor allem kleine Signalkreisläufe im Hippocampus, die den Eintritt von Informationen in und den Austritt aus dem Papez-Kreis organisieren. Das geschieht mit engen Rückkopplungen zwischen Hippocampus und Entorhinaler Cortex.

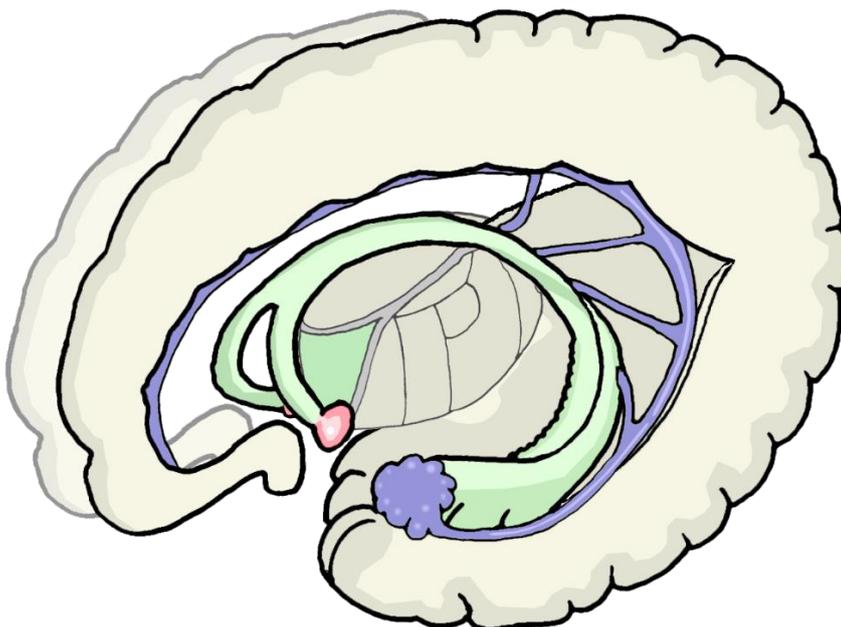


Bild: Das dicke Ende der grünen Struktur zeigt den Hippocampus, verzahnt mit dem Großhirn.

Das aus systemtheoretischer Sicht notwendige Zwischenspeichern von Kommandos und die entkoppelte Abbildungsebene der Informationen hat eine zusätzliche positive Wirkung. Informationen werden als solche klarer herausgearbeitet und schärfer abgegrenzt. Sie eignen sich damit besser für eine Langzeitspeicherung in den Gehirn-weiten Reizleitungsmustern. Die Zwischenspeicherung im Papez-Kreis tut dann noch ihr Übriges. Sie fördert mit Langzeitpotenzierung der Signale ein Einbrennen aktiver Informationen. Menschen ohne Hippocampus verlieren die Fähigkeit zum Speichern neuer Erinnerungen nahezu komplett.

Auch der Gyrus cinguli (im Bild der links beginnende und im oberen Bereich endende Teil der grauen, bogenförmigen Struktur) ist Teil des Papez-Kreises. Sein hinterer Teil ist an der Regulation von visuell-räumlicher Aufmerksamkeit beteiligt und damit zugleich am räumlichen Gedächtnis. Im Zusammenwirken mit dem Hippocampus. Der vordere Teil des Gyrus cinguli ist eng mit der Amygdala verbunden. Seine Aufgabe wird darin gesehen, widersprüchliche Reize gegeneinander abzuwägen und eine Entscheidung zu treffen. Darüber hinaus ist bekannt, dass das Stirnhirn eine Kontrollfunktion über die Amygdala ausübt. Damit kann das Stirnhirn bis zu einem gewissen Grad Emotionen und Angst unter Kontrolle halten. Dieser Zusammenhang ist insofern bemerkenswert, da das Stirnhirn das mit seinen Verknüpfungen am weitesten sowohl von der Sensorik wie auch von der Motorik entfernte Areal ist. Es hat allein mit dieser räumlichen Lage die besten Voraussetzungen, ganzheitliche Entscheidungen, die ein Lebewesen als Einheit benötigt, zu garantieren. Die hier gespeicherten Informationen sind über mehrere assoziierende Gehirnareale von der aktuellen Sinneswahrnehmung entkoppelt. Im Stirnhirn könnten dauerhafte Wertvorstellungen, die das Wesen bestimmen, gespeichert sein. Die Kontrollwirkung auf die Amygdala scheint dann auch zu bestätigen, dass das Stirnhirn als Mit-Entscheider eingebunden wird. Denn die Amygdala wird mit Emotionen der Furcht verbunden und beschleunigt bei Gefahr in Verzug motorische Reaktionen.

## Lernen und Differenzieren

Die Betrachtung der funktionalen Areale des Gehirns vermittelt bis zu diesem Punkt ein Zusammenspiel, mit dem sich bereits ein ganzheitliches Funktionieren des Gehirns zeigt. Grundlage der Abläufe im Großen ist im Kleinen das fortlaufende Verkoppeln über Nervenfasern. Sie können neu zugeordnet, durch wiederholte Reizleitung gefestigt und auch wieder gelöst werden. Mit Einbrennen und Verflechten zu ganzen Netzwerken entsteht Wissen. An der richtigen Stelle gereizt, reagiert das ganze Netzwerk und löst ein komplexes Reizleitungsmuster aus. Gespeicherte Informationen werden zum Leben erweckt.

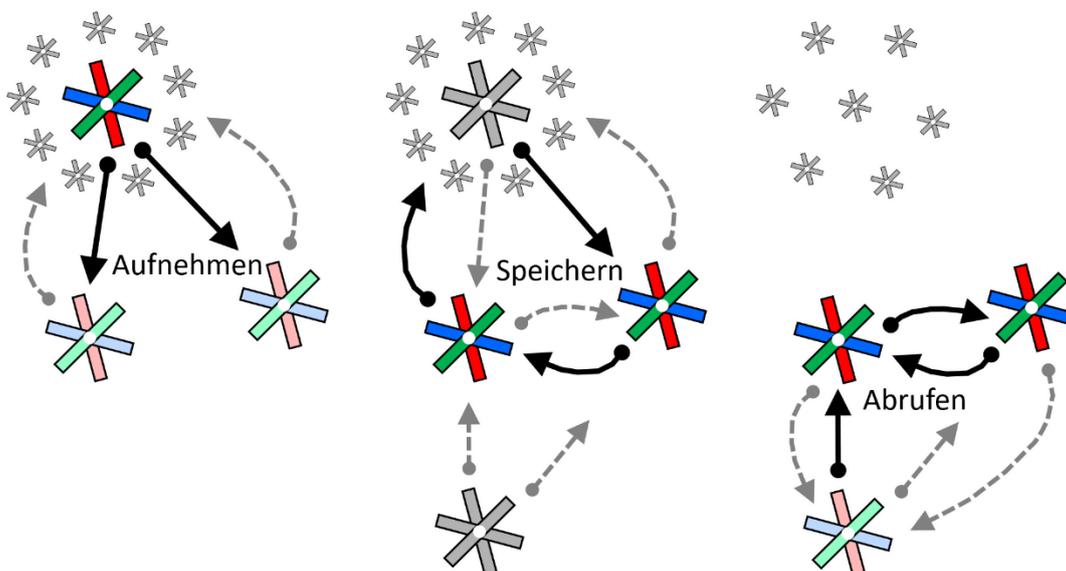


Bild: Reize von einer Quelle werden aufgenommen, gespeichert und zum Abruf bereitgestellt

Die einfachste Form des Wissensabrufs ist die Abfrage einer Bestätigung ... „Liebe Information, gibt es dich wirklich?“. Ein neuronaler „Ping-Test“ wie bei der Abfrage über ein Computernetzwerk. Das Bild oben zeigt den dazu nötigen neuronalen Aufbau: Neuronen, entstehende Verbindungen und gefestigte Nervenfasern, dargestellt als gestrichelte und schwarze Pfeile. Das Bild stellt das Lernen in drei Schritten dar. Die Aufnahme einer äußeren Information realisiert die Reizweiterleitung zu mindestens zwei nachfolgenden Neuronen. Die Speicherung bildet Signalkreisläufe aus, die kurzfristig noch die Quelle einbeziehen, dann aber nach und nach eigenständig zwischen den beiden Zielorten ausgeprägt werden. Das Speichermedium sind die neuen Nervenfasern zwischen den beiden Neuronen, die ihrerseits zum Eingangstor, für Abfragen werden. Der Informations-Abruf erfolgt von einem beliebigen Neuron, das eine Verbindung zu einem der Eingangstor-Neurone findet und ein Signal sendet. Dadurch wird der Signalkreis aktiviert, der die Aktivität zum einen kurzfristig aufrecht hält und zum anderen von beiden Eingangstor-Neuronen aus zurücksignalisiert. Das starke Echo ist die Antwort auf die angefragte Bestätigung. Mit dem dritten Schritt können die ursprünglichen Verbindungen zur Quelle beibehalten oder aufgelöst werden, je nachdem, ob die Quelle regelmäßig neue Informationen der Außenwelt liefert oder ob sie für Neues freigegeben werden kann.

Sinn kommt in die Sache mit einem strukturierten Umfeld, in dem sich Neuronen befinden. Die Speicher-Inhalte werden erst dann zu nutzbarem Wissen, wenn sie aus der Sicht eines Fragestellers in einen Zusammenhang wahrgenommen werden. Je mehr Struktur, desto höherentwickelt das Gehirn. Funktionale Bereiche im Gehirn schaffen sogenannte Projektionsfelder. Diese Areale sind einem klaren Motiv zugeordnet und enthalten Neurone, die Eingangstor für differenzierte Wissensbrocken sind. In visuellen Eingangsbereichen prägen etwa räumliche Strukturen oder Bewegungsmuster die Motive von Projektionsfeldern. Innerhalb des jeweiligen Motivs differenzieren die Neurone im somatosensorischen Homonculus sensible Stellen des Körpers. Neurone der Sehrinde differenzieren Bildpunkte im Gesichtsfeld. Neurone im CA1-Bereich des Hippocampus differenzieren bei einigen Säugetieren feste Orte der Umgebung.

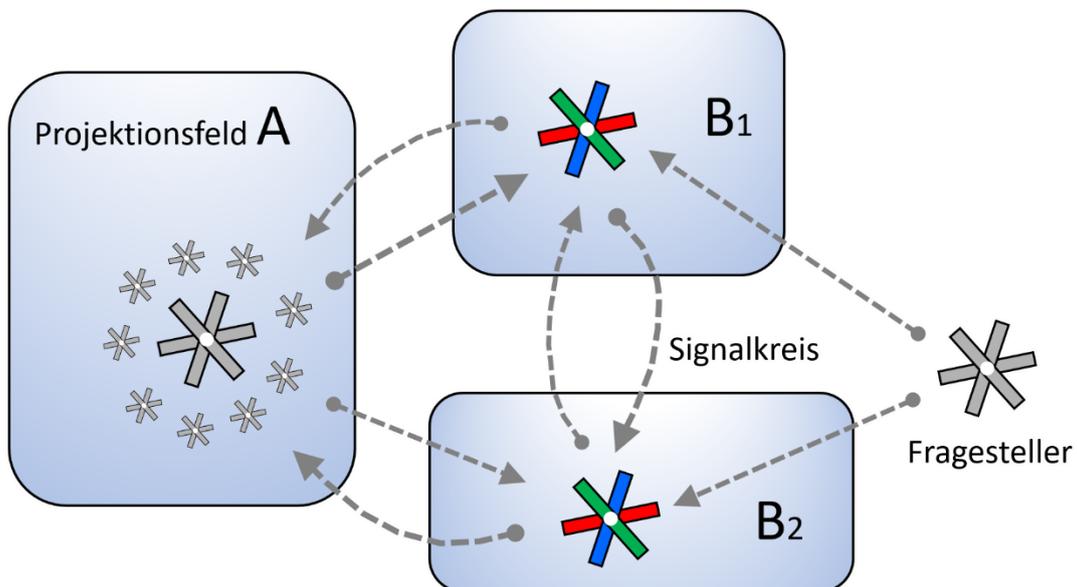


Bild: Projektionsfelder enthalten Neurone, die ein differenziertes Bild eines Ganzen zeigen

Zwischen Projektionsfeldern, die regelmäßig zusammenwirken, bestehen leistungsstarke Nervenfaserverbindungen. Mit Verästelung der Synapsen oder über Zwischenneurone kann jeder bestimmte Punkt eines Projektionsfelds eine Verbindung mit einem bestimmten Punkt eines anderen Felds ausprägen. Beispielsweise könnten ein visuelles Bildmuster und ein Bewegungsmuster in Kombination gebracht werden. So könnte auf einfache Weise eine Gefahr gespeichert sein. Tritt die Kombination erneut auf, gibt es eine starke Reaktion. Auch kann mit einem Teil der Information, wenn nur ein schwaches Eingangstor angesprochen wird, zumindest die Wachsamkeit erhöht und eine mögliche Gefahrenabwehr vorbereitet werden.

## Authentizität von Informationen

---

Für die Sensorik kann gezeigt werden, dass im Gehirn redundante Signale erzeugt werden, ohne die ein Erlernen und eine initiale Einordnung, ob eine Information tatsächlich einen äußeren Ursprung hat, unmöglich wären. Mit dem Artikel „Symmetrie und Sehen“ wird am Beispiel des Seh-Sinns deutlich, wozu und warum Sinne und äußere Wahrnehmung mit paarweise-symmetrischen Organen organisiert sind.

Etwas kniffliger wird die Authentifizierung einer Information, wenn diese nicht der aktuellen Wahrnehmung entspringt, sondern Denkprodukte und Wissen abbildet, die unabhängig von der Umgebung im Gehirn selbst entstehen. Auch hier ist es notwendig, zufällige und fehlerhafte Signale von sinnvollen Informationen zu unterscheiden. Sinnvolles Wissen sollte bei seiner Anfrage eine starke Reaktion zeigen. Das wird durch starke Verbindungen über größere Strukturen und verknüpfte Projektionsfelder hinweg ermöglicht. Wenn Wissen von separaten Stellen aus bestätigt wird, dann ist es auch gefestigt. Auf der gegenüberliegenden Seite muss auch die Wissens-Abfrage authentisch sein. Eine Antwort aus einem Wissensbereich auf sinnlose Abfrage-Reize wäre nicht sinnvoll. Authentische Abfragen erfordern einen beschränkten Zugang, der zum Auslösen einer Antwort führen darf. Das kann mit einer exklusiven Verbindung, die nur einer anfragenden Stelle zugänglich ist, gelöst werden. Oder es müssen mehrere Eingangstor-Neurone in Kombination aktiviert werden. Bildlich gesehen kann man den Zugang zu Wissen mit einer Tresortür vergleichen, die mehrere Schlüssel erfordert.

Kein Wissen ohne einen wie auch immer gearteten Bezug zur Realität. Es erscheint daher vielversprechend, die primären und sekundären sensorischen Gehirnareale zu betrachten. Von da wird Material aus der äußeren Realität bereitgestellt und weiterem Denken zugeliefert. Dieser Grundstock an Informationen darf bis zur Unkenntlichkeit „weitergedacht“ werden. Hilfreich wäre es jedoch, wenn das Basis-Gedankenmaterial in eine erste Ordnung abgebildet würde. Die Sensorik des menschlichen Seh-Sinns bietet eine bemerkenswerte Vorverarbeitung an. Ergebnisse früher Verarbeitung werden auf getrennte Bahnen verzweigt. Das erzeugt ein differenzierendes Abbildungsverfahren in Richtung nachfolgender Areale.

## Wissensbeitrag des Sehens

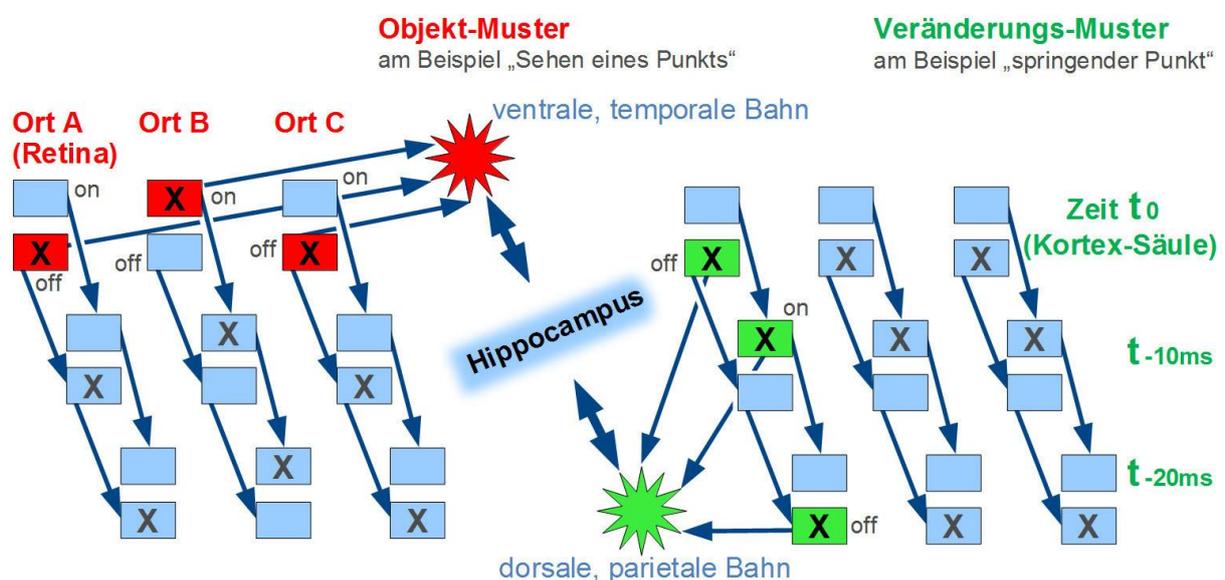
---

Gut erforscht sind vor allem Funktionen der primären Sensorik. Das visuelle System zeigt eine Zerlegung in spezifische Teilinformationen. In der Retina werden Signale der Rezeptorzellen in drei Gegenfarbsignale abgebildet, den rot-grünen, blau-gelben und schwarz-weißen Farbmechanismus. Jedes so differenzierte Signal wird auf eine Ganglienzelle geschaltet. Die Hälfte 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 Umfeld-Beleuchtung erregt werden. 90 % der über eine Million Ganglienzellen pro Auge projizieren über den Thalamus zum sensorischen Cortex. Einbezogener Teilbereich des Thalamus ist das sogenannte Corpus geniculatum laterale, CGL. Die von einem Auge ausgehenden Signale werden aufgeteilt. Informationen aus dem linken Bereich des Gesichtsfelds beider Augen gelangen zur rechten Gehirnhälfte und umgekehrt. Das CGL im Thalamus besteht aus sechs übereinanderliegenden Zellkörperschichten. Jeder der drei Farbarten und zwei Augen-Zuordnungen ist eine festgelegte Schicht zugeordnet. Mit Anordnung der angesteuerten Zellen im CGL wie auch danach im visuellen Cortex bleibt die Anordnung der Bildinhalte des Gesichtsfelds erhalten.

Die 1,5 Millionen Axone des CGL projizieren in unterschiedliche Bereiche der Eingangsschicht des Cortex. Dort sind die Zentren der rezeptiven Felder zwar noch einer Position im Gesichtsfeld zugeordnet. Im primären visuellen Cortex (V1) antworten V1-Neurone aber nur noch schwach auf punktförmige Lichtreize, dafür heftig auf kurze Lichtstreifen. Übereinander liegende Neurone im Cortex stellen dieselbe Orientierungsrichtung von Lichtstreifen in

zeitlicher Abfolge dar. Tangential zur Cortex-Oberfläche ändert sich die Orientierungsrichtung in kontinuierlichen Schritten. Für V1 konnte eine regelmäßige windmühlenartige Anordnung nachgewiesen werden. Einem Punkt des Gesichtsfelds sind nebeneinander und übereinander liegende Neurone zugeordnet, die eine Säule bilden, die sogenannten Orientierungssäulen. Diese sind etwa 30-100  $\mu\text{m}$  breit.

Die Grundlagen des visuellen Systems zeigen differenzierende Vorstufen für eine 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 Sensorik-Areal 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.



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

Ein Set an Neuronen, die etwa kontrastreiche Punkte auf der Retina repräsentieren, wird passend zu einem Objekt-Muster kombiniert. Dieses projiziert zu einem bündelnden Neuron. Das wiederum projiziert weiter in Richtung ventraler, temporalen Bahn. Für ein Bewegungsmuster werden ebenfalls passende Neurone kombiniert. 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 (Quelle: [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).

## Spezialisierung der Gehirnhälften

In den vorangegangenen Abschnitten wurde den Grundlagen der selbst-organisierenden Entwicklung der Informationsverarbeitung im Gehirn nachgegangen. Durch Verkopplungen und Signalkreisläufe werden Informationen gespeichert und weitreichende Reizleitungsmuster finden damit einen Sinn. Zentraler Mechanismus ist die neuronale Plastizität, die Wandlungsfähigkeit der Nervenfasern mit ihren Synapsen. Es gibt noch ein aus systematischer Sicht scheinbar nicht begründbares Ordnungsschema. Die funktionelle Asymmetrie durch Spezialisierung der Gehirnhälften mit jeweils dominanten Fähigkeiten.

