

## Die Neurobiologie des Konstruktivismus – Wie in unserem Gehirn Wirklichkeit entsteht<sup>1</sup>

Wolfgang Dillo

### Zusammenfassung

*Wenn ich den folgenden Text schreibe, lebe ich in der Annahme, dass Sie, liebe Leser\*innen, diese Zeilen genauso verstehen werden, wie ich sie gedacht habe. Aber natürlich weiß ich, dass Sie vor dem Hintergrund Ihrer eigenen Ideen und Konzepte möglicherweise zu ganz anderen Schlussfolgerungen kommen als ich. Wenn das so ist, lohnt es sich darüber nachzudenken, wie unserem Gehirn diese Unterschiedlichkeit gelingt. In der Hoffnung, dass es trotz allem auch Gemeinsamkeiten gibt, lade ich Sie mit dem folgenden Artikel ein, meine Gedanken darüber zu teilen, wie Nervenzellen, über deren Funktion man sehr viel weiß, Konstruktivismus erzeugen.*

*Schlüsselwörter: Neurobiologie, Konstruktivismus, Wahrnehmung, Konzepte*

### Abstract

*When I write the following text, I live in the assumption that you, dear reader, will understand these lines in the same way as I understand them. But of course I know that you, with your own ideas and concepts, may come to quite different conclusions than I do. If this is the case, it is worth to think about how our brain creates this difference. In the hope that, despite everything, there are also commonalities, I would like to invite you to share my thoughts on how neurons, about whose function we know a lot, can generate constructivism.*

*Keywords: neurobiology, constructivism, perception, concepts*

### Einleitung

Der Konstruktivismus ist die wegweisende philosophische Grundlage des systemischen Denkens und Handelns (Simon 2020). Bei klarem Bewusstsein ist unser Denken zu jedem Zeitpunkt darauf ausgerichtet, Wahrnehmung zu integrieren und in ein individuell sinnvolles Konzept einzubetten. Das Gehirn braucht nur einen Teil eines Ganzen mit einem Sinnesorgan wahrzunehmen, um auf das Ganze zu schließen – es zu konstruieren. Natürlich beschränkt sich diese konstruktivistische Fähigkeit nicht

nur auf Objekte, sondern gilt auch für abstrakte Phänomene – Geschichten, Gefühle, Werte ... Wenn nun diese Phänomene alltäglich zu beobachten sind, drängt sich die Frage auf, wie es dem Gehirn gelingt, diese hervorzubringen. In der aktuellen Forschung gibt es eine große Kluft in den Ansichten, wie man sich dieser Frage nähern kann. Während Gerhard Roth (z. B. 2003, 2009; Roth u. Strüber 2019) der Meinung ist, jeder Gedanke, jedes Gefühl sei am Ende auf die Aktivität von Nervenzellen zurückzuführen, lehnt Thomas Fuchs (2007) diese Sichtweise als reduktionistisch ab und meint, dass die Leistung unseres Gehirns immer nur in Wechselwirkung mit dem Körper und der Umwelt zu sehen sei.

Die folgenden Überlegungen bewegen sich zwischen diesen Positionen. Einerseits gehen sie davon aus, dass jegliche Art des Denkens auf Nervenzellen und deren Aktivität basiert. Andererseits bauen sie auf der Annahme auf, dass ein Erklärungsmodell, das zwangsläufig reduktionistisch ist, nicht die Existenz des beschriebenen Phänomens in Frage stellt, sondern es im Gegenteil bestätigt.

### Die biologischen Grundlagen: Nervenzellen und neuronale Netzwerke

Dem Pathologen Virchow (1821–1902) wird der Satz zugeschrieben „jetzt habe ich schon so viele Gehirne untersucht, eine Seele habe ich nicht gefunden“<sup>2</sup>. Man kann sich fragen, ob er nicht genau genug oder ob er an der falschen Stelle gesucht hat, oder man könnte die Hypothese vertreten, dass er seinen eigenen blinden Fleck nicht gesehen hat. Inzwischen haben weltweit zahlreiche Wissenschaftler\*innen faszinierende Forschungsergebnisse erzielt, die die Funktionsweise von Nervenzellen detailliert erklären. Allein, Seele und Gedanken haben sie darin immer noch nicht entdeckt. Auch die Arbeitsgruppe, der ich an der Medizinischen Hochschule Hannover angehört habe, hat „die Seele“ nicht entdecken können. Unser Ziel war es, das Wesen des schizophrenen Denkens besser zu verstehen. Dass wir damals zum Konstruktivismus geforscht haben, habe ich erst später erkannt. Ich werde auf diese Versuche im weiteren Verlauf eingehen, sie bilden die Grundlage der folgenden Ausführungen.

Zunächst einige Erkenntnisse, die auch aus konstruktivistischer Sicht als brauchbare Grundlage gelten sollten. Das Gehirn besteht aus ca. 80 Milliarden Nervenzellen. Einerseits Nervenzellen, die Impulse verarbeiten und weiterleiten, andererseits Zellen, die die Nervenzellen umgeben, ein Stützgerüst bilden und andere Funktionen haben.

1) Der vorliegende Aufsatz ist eine erweiterte Fassung eines Hauptvortrags der Jahrestagung „Systemisch“ heute: Zwischen Beliebigkeit und Eindeutigkeit“ der Systemischen Gesellschaft in Berlin, 17.–18.05.2019

2) Der Ausspruch „Tausende von Leichen sezirt, dabei aber keine Spur der menschlichen Seele gefunden“ zu haben, wird Virchow zwar oft zugesprochen, allerdings wehrte er sich selbst am 22. Februar 1877 im preußischen Abgeordnetenhaus gegen diesen Vorwurf, so etwas gesagt zu haben (vgl. Virchow, Rudolf: Sämtliche Werke. Bd. 34. Abt. II. Politik. Politische Tätigkeit im Preußischen Abgeordnetenhaus 6. Februar 1875 bis 2. März 1877. Hrsg.: Christian Andree. Band 34. Berlin 1999, S. 540–541., [https://de.wikipedia.org/wiki/Rudolf\\_Virchow#cite\\_note-38](https://de.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Virchow#cite_note-38), 15.1.2021)

Für die weiteren Überlegungen sind die Nervenzellen, die Impulse übertragen, von Belang, weil diese Impulse die Grundlage für Informationsverarbeitung darstellen. Diese Prozesse der Informationsverarbeitung laufen sehr schnell ab. Mit Reaktionszeitmessung lässt sich einfach ermitteln, dass es nur ca. 300 ms braucht, bis das Gehirn einen unbekanntem Reiz (z. B. ein Bild im Internet) verarbeitet hat und darauf reagieren kann. Wenn das Auge einen optischen Reiz präsentiert bekommt, wandelt es diesen an der Netzhaut in einen Nervenimpuls (ein sogenanntes Aktionspotenzial) um. Dieses wird von der Netzhaut weitergeleitet zu Nerven, die im Mittelhirn liegen, und von da aus verteilt, unter anderem in den Hinterhauptslappen des Gehirns. Dort befindet sich die primäre Sehrinde, in der die Aktionspotenziale der Netzhaut „ausgewertet“ und dann abhängig von der Art des Reizes in andere Bereiche des Gehirns weitergeleitet werden.

Schaut man sich diesen Zeitraum der 300 ms genauer an, muss man feststellen, dass es allein 100 ms dauert, bis der Impuls im Hinterhaupt ankommt. Die Umschaltung eines Impulses von einer Nervenzelle auf eine andere benötigt ungefähr 2 ms. Daraus folgt, dass es nur 150 serielle (nacheinander wirkende) Verschaltungen geben kann, bis das Gehirn eine komplexe Information wie ein Bild soweit verarbeitet hat, dass es zu einer individuell sinnvollen Reaktion in der Lage ist. Verglichen mit einem Computer sind 150 Verarbeitungsschritte extrem wenig und es ist kaum vorstellbar, dass es so gelingen kann, komplexe Informationen zu verarbeiten. Im Gegensatz zu einem Computer, der im Wesentlichen seriell funktioniert, ist das Gehirn in der Lage, Informationen parallel zu verarbeiten. Nervenzellen bilden ausgedehnte Netzwerke und können so Impulse gleichzeitig an viele weitere Nervenzellen weitergeben.

Dabei ist die grundsätzliche Funktionsweise einer Nervenzelle relativ einfach zu verstehen. Die Nervenzelle besteht aus einem Zellkörper, in dem sich der Zellkern befindet. Auf der einen Seite des Zellkörpers befinden sich Zellfortsätze (Dendriten), die sich wie Wurzeln eines Baumes ausbreiten und aus der Umgebung Impulse einsammeln. Auf der anderen Seite des Zellkörpers finden sich Zellfortsätze (Axone), die sich ebenso ausbreiten und sich an die Zellfortsätze anderer Nervenzellen anlagern (Synapsen bilden) und dann Impulse weitergeben können. Die Impulse, die eine Nervenzelle weitergibt, können aktivierend oder hemmend auf die nächste Zelle wirken. Jeder Nerv erhält so auf der Seite der Dendriten Impulse und ist andauernd damit beschäftigt, die aktivierenden gegen die hemmenden Impulse zu verrechnen. Erreichen die Nervenzelle mehr aktivierende als hemmende Impulse, gibt sie einen eigenen Impuls weiter. Überwiegen die hemmenden Impulse, bleibt sie stumm. Über die Frequenz der Ausgangsimpulse moduliert die Nervenzelle das Ausgangssignal. Je stärker die aktivierenden Eingangsimpulse die hemmenden überwiegen, desto höher ist die Frequenz der Ausgangssignale.

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Nervenzellen ist, dass sie sich beständig verändern können. Mit dem Begriff *Neuroplastizität* wird die Fähigkeit des Gehirns

beschrieben, lebenslang auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren und sich diesen anzupassen. Plastizität ist damit die Grundlage aller Lernprozesse. Sie bezieht sich unter anderem auf die Verbindung zwischen zwei Nervenzellen (Synapsen). Der Psychologe Donald O. Hebb hat 1949 die nach ihm benannte Regel beschrieben (Hebb 1949/2002), nach der sich die synaptischen Verbindungen zwischen zwei Nervenzellen verstärken, wenn sie gleichzeitig aktiv sind.<sup>3</sup> Von Gerald Hüther ist dieses Phänomen mit der Metapher „Autobahnen im Gehirn“ beschrieben worden (Hüther 1997). Gedanken oder Handlungen, die immer wieder stattfinden, verstärken die synaptischen Verbindungen der dazugehörigen Nervenzellen und sorgen so dafür, dass sie immer wieder benutzt werden.

Ihr eindrucksvolles Potenzial entfalten Nervenzellen, wenn sie zu neuronalen Netzwerken verbunden sind. Neuronale Netzwerke bestehen aus einer Eingangsschicht von Nervenzellen, Verbindungsneuronen und einer Ausgangsschicht von Neuronen. Sie empfangen Informationen, wandeln sie um und geben Ausgangssignale ab.

Um die Funktion eines neuronalen Netzwerkes zu erklären, bedarf es einer drastischen Reduktion von Komplexität. Gehen wir daher von einem neuronalen Netzwerk aus, das lediglich zwei Eingangs- und zwei Ausgangsbedingungen verarbeiten soll.

Anhand der folgenden Problemstellung soll die Funktion eines solchen neuronalen Netzwerkes beschrieben werden. Ein Erstklässler soll zu Schulbeginn lernen: Wenn du deinen Namen hörst, sei aufmerksam. Wenn du deinen Namen und die Aufforderung „du bist dran“ hörst, gebe eine Antwort. Wenn du nur hörst „du bist dran“, ohne deinen Namen zu hören, dann bleibe ruhig. Auf der Eingangsseite gibt es also drei Bedingungen A: eigener Name, B: „du bist dran“ und A mit B: eigener Name „du bist dran“.

Auf der Ausgangsseite gibt es vier Reaktionen C: Aufmerksamkeit D: Antworten, weder C noch D: keine Aktion und sowohl C und D: Aufmerksamkeit und Antworten.

Gehen wir davon aus, dass die gewünschten Reaktionen konstant mit einer positiven Rückmeldung und die ungewünschten Reaktionen konstant mit einer negativen Rückmeldung beantwortet werden.

3) „Wenn ein Axon der Zelle A [...] Zelle B erregt und wiederholt und dauerhaft zur Erzeugung von Aktionspotentialen in Zelle B beiträgt, so resultiert dies in Wachstumsprozessen oder metabolischen Veränderungen in einer oder in beiden Zellen, die bewirken, dass die Effizienz von Zelle A in Bezug auf die Erzeugung eines Aktionspotentials in B größer wird.“ (Hebb (1949, S. 62), Übersetzung nach Kandel et al., 1995, S. 700 [<http://www.neuronalesnetz.de/hebb.html>])

Anders formuliert heißt dies, je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit Neuron B aktiv ist, umso bevorzugter werden die beiden Neuronen aufeinander reagieren, kurz: „what fires together, wires together – was zusammen feuert, verbindet sich“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Hebbsche\\_Lernregel](https://de.wikipedia.org/wiki/Hebbsche_Lernregel), 15.01.2021)

Zu Beginn des Schuljahres sind die Neuronen der Eingangsschicht ungeordnet mit denen der Ausgangsschicht verbunden. Das heißt, auf die Eingangsbedingungen erfolgt eine zufällige Reaktion auf der Ausgangsebene.

Möglicherweise wird das Kind am schnellsten lernen, dass das Hören des eigenen Namens und Aufmerksamkeit positive Rückmeldung erzeugt und die Synapsen, die diese Verbindung erzeugen (von A nach C), werden als erste gestärkt. Dann wird es evtl. lernen, dass das Hören des eigenen Namens mit der Reaktion „Antworten“ nicht erwünscht ist, so dass sich Verbindungen entwickeln, die das Eingangsneuron A mit hemmenden Impulsen mit dem Ausgangsneuron D verbinden. Auch Eingangsneuron B wird hemmende Impulse auf das Ausgangsneuron D entwickeln, so dass die Aufforderung „du bist dran“, ohne den eigenen Namen zu hören, nicht zum Antworten führt. Wenn nun der eigene Name mit der Aufforderung „du bist dran“ erfolgt, dann werden Eingangsneuronen A und B gleichzeitig aktiv. Damit nun das Ausgangsneuron D aktiv werden kann, müssen sich Verbindungen entwickeln, die zuerst die hemmenden Impulse von A und B auf das Ausgangsneuron D unterdrücken und dann zusätzlich eine aktivierende Verbindung auf Ausgangsneuron D haben, so dass in diesem Fall geantwortet wird. Das neuronale Netzwerk ist in der Lage, die Aufgabe zu erfüllen, und wird zuverlässig reagieren, solange sich die äußeren Bedingungen nicht verändern.

In diesem Beispiel wurden innere und äußere Einflussfaktoren außer Acht gelassen, die sonst noch Einfluss auf Aufmerksamkeit und Reaktionsverhalten haben können. Würde man diese mit hinzuziehen, würde das Netzwerk sicher sehr viel größer und es zeigt sich, dass das Zusammenspiel neuronaler Netzwerke unüberschaubar komplex wird, sobald man auch nur einen kleinen Schritt wagt, weg von einer modellhaften Überlegung hin zu lebensnahen Prozessen.

### Die Verknüpfung neuronaler Netzwerke Bottom-Up und Top-Down

Modellhaft kann man sich vorstellen, dass neuronale Netzwerke hierarchisch geordnet sind. Auf der untersten Ebene befinden sich Netzwerke, die ihr Eingangssignal von den Sinnesorganen des Körpers erhalten.<sup>4</sup> Der Teil der Sehrinde, in dem die ersten Verarbeitungsprozesse für Gesehenes stattfinden, wird als primäre Sehrinde (oder V1) bezeichnet. Hier befindet sich für jeden Bildpunkt der Netzhaut des Auges eine „Auswertungshardware“ in Form von neuronalen Netzwerken, die spezialisiert sind auf waagerechte und senkrechte Linien sowie auf Farben und Bewegungen. Das

4) Sinnesorgane wandeln physikalisch oder chemisch messbare Reize in neuronale Impulse um. Die Verarbeitung im Gehirn erfolgt unabhängig von der Sinnesqualität immer durch diese neuronalen Impulse. Die ersten Verarbeitungsschritte erfolgen in speziellen Hirnregionen. Die Sehrinde (visueller Cortex) befindet sich im Hinterhauptslappen des Gehirns, die Hörinde (auditiver Cortex) im Schläfenlappen. Unter anderem im Stirnhirn laufen die Informationen zusammen und werden zu einem Gesamtkonzept vereinigt.

heißt, wenn auf einem Bildpunkt der Netzhaut eine waagerechte Linie auftaucht „\_“, wird das dazugehörige neuronale Netzwerk ein starkes Ausgangssignal erzeugen und parallel an in der Hierarchie höher gelegene Netzwerke weitergeben. Ein anderes Netzwerk wird in gleicher Weise bei einer senkrechten Linie „l“ verfahren. In der nächsten Ebenen treffen diese Signale auf Netzwerke, die für komplexere Strukturen codiert sind und nach dem gleichen Prinzip Informationen verarbeiten und weiterleiten. So könnte es ein Netzwerk geben, dass auf den gleichzeitigen Eingang einer senkrechten und waagerechten Linie „l“ reagiert und wiederum ein Ausgangssignal an Netzwerke schickt, die auf die folgenden geometrischen Formen programmiert sind „A, B, C ... L ...“. Wenn nun gleichzeitig in anderen Netzwerken in gleicher Weise die Informationen von „E“, „S“, „E“, „N“ ausgewertet wurden und an ein Netzwerk weitergeleitet werden, das auf „LESEN, RECHNEN ...“ reagieren, ist ein Wort erkannt. Dieses Netzwerk wird seine Ausgangssignale dann weiträumig im Gehirn verteilen zum Beispiel in den Schläfenlappen, wo sich Netzwerke befinden, die Sprache codieren, oder auch ins Stirnhirn, in dem Netzwerke soziales Verhalten steuern.

Geht man von diesem hierarchischen Modell aus, fasst jede Verarbeitungsebene die Informationen der vorherigen zusammen und wertet sie aus, so dass die neuronalen Netzwerke mit jeder Ebene zunehmend abstrakte Informationen codieren. Die Richtung des Informationsflusses bezeichnet man als Bottom-Up. Bei dieser Beschreibung liegen die Wahrnehmungsorgane und die primär verarbeitenden Netzwerke unten und der Informationsgehalt wird mit jeder Verarbeitungsebene nach „oben“ komplexer.

Wir können aber auch Buchstaben erkennen, die gar nicht da sind. Beim Lesen ist es oft ausreichend nur einen Anfangs- und Endbuchstaben zu erkennen, um das eine Wort oder den ganzen Satz verstehen zu können. U\*\*er G\*\*\*rn k\*\*n d\*s a\*\*h so g\*\*z g\*t l\*\*\*n. Wichtig ist allerdings auch, dass der Satz einen übergeordneten Sinn ergibt. Wenn man die Worte in der Reihenfolge vertauscht, wird es schwieriger: W\*\*\*e A\*\*r n\*r P\*\*\*z w\*\*n d\*e am s\*\*\*\*\*n ri\*\*\*\*\*en.<sup>5</sup>

Das Erkennen der einzelnen Worte kann man mit dem obigen Modell erklären. Das neuronale Netzwerk, in dem ganze Worte hinterlegt sind, braucht keine vollständige Information über ein Wort, um es dennoch zu erkennen und eine Reaktion zu erzeugen, aber wie soll es bei W\*\*\*e zwischen „Worte“ und „Waffe“ unterscheiden? Es bedarf weiterer Informationen, um eine Entscheidung treffen zu können. Dazu muss man dem bisherigen Modell einen zweiten Informationsfluss Top-Down (von oben nach unten) hinzufügen. Wie an dem kleinen Experiment zu sehen ist (Versuchen Sie den Satz in der Fußnote noch einmal zu lesen), ist der übergeordnete Sinn von Bedeutung. Bisher gehen wir von einem Informationsfluss Bottom-Up aus. Dieser

5) A\*\*r n\*r w\*\*n d\*e W\*\*\*e am ri\*\*\*\*\*en P\*\*\*z s\*\*\*\*\*n.

fügt die einzelnen Worte in einem hierarchisch höher gelegenen Netzwerk zu sinnvollen Satzeinheiten zusammen. Wenn nun dieses Netzwerk seine Ausgangssignale nicht nur Bottom-Up, sondern auch Top-Down weitergibt, erreichen das darunter gelegene Netzwerk Informationen, die eine Entscheidung bahnen. Für den Fall, dass beim Lesen ein sinnvoller Satz entsteht, werden Ausgangssignale Top-Down zurückgeschickt, die die Reaktion auf die entsprechenden Worte verstärkt und so ein Erkennen erleichtert.

Immer wenn wir vor der Aufgabe stehen, uns etwas vorzustellen, wird ein Informationsfluss Top-Down angestoßen. Es ist ein alltägliches Phänomen, dass wir in der Lage sind, ein Bild, eine Musik, einen Geschmack ... so intensiv zu imaginieren, dass diese im inneren Erleben auftauchen.<sup>6</sup>

### Der Konstruktivismus als Verschmelzung von Wahrnehmung und Konzept

Zu jedem Zeitpunkt wird unser Denken zum einen von unserer Wahrnehmung bestimmt und zum anderen von unseren Konzepten, also von alledem, was wir an Erfahrungen und Wissen im Lauf unseres Lebens erworben haben. Diese beiden Pole sind verbunden durch die beschriebenen Informationswege Top-Down und Bottom-Up. Man spricht von einer Interaktion zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Prozessen. Das Modell der Interaktion zwischen Top-Down und Bottom-Up ist gewissermaßen „die Geburtsstunde“ des Konstruktivismus aus neurobiologischer Sicht. Interpretation von Wahrnehmungen ist nicht mehr nur an objektiv messbare Wahrnehmung gebunden, sondern abhängig von individuellen Konzepten. Diese Konzepte wiederum sind nicht statisch, unterliegen vielmehr einer ständigen Veränderung durch Lernen und Lebenserfahrung und sind bei jedem Menschen anders.

Nun ist kaum davon auszugehen, dass alles, was über die Sinnesorgane wahrgenommen wird, genauso im Gehirn als Konzept gespeichert ist. Vielmehr dürfte es eher sehr selten sein, dass Wahrnehmung und Konzept exakt übereinstimmen. Daher stellte sich die Frage, wie es bei diesen unterschiedlichen Informationen zu einer individuell sinnvollen Interpretation kommen kann. In welchem Mischungsverhältnis stehen Wahrnehmung und Konzept zueinander? Welche Komponente setzt sich durch?

Das Phänomen von optischen Täuschungen beruht unter anderen auf dem unüberbrückbaren Gegensatz zwischen perspektivischer und geometrischer Interpretation (siehe Kasten). Es ist allerdings zu fragen, ob sich das Gehirn tatsächlich täuschen

6) Mit funktioneller Kernspintomographie konnte man ein Areal im Gehirn nachweisen, dass immer dann aktiv wird, wenn wir ein Gesicht anschauen (fusiformer Cortex). Die gleiche Aktivierung dieses Areals erreicht man auch, wenn man Versuchspersonen auffordert, die Augen zu schließen und sich Gesichter vorzustellen (Kipps-hagen 2011).

lässt oder ob es nicht eher eine Entscheidung trifft zwischen Wahrnehmung und Konzept. In typischer Weise entscheidet sich das Gehirn bei einer perspektivischen Darstellung für ein Konzept von Perspektive und gegen die geometrische Wahrnehmung. Wenn man davon ausgeht, dass das Bewusstsein in erster Linie dafür da ist, sich in seiner Umgebung orientieren zu können, ist diese Entscheidung des Gehirns sicher sinnvoll bzw. überlebensnotwendig. Im Fall der perspektivischen Bilder scheint also das Konzept der Perspektive so dominant zu sein, dass es die Wahrnehmung überstimmt. Sobald man die perspektivischen Informationen aus dem Bild entfernt und durch andere ersetzt, setzt sich die wahrnehmende Komponente durch. Die Interaktion zwischen Top-Down und Bottom-Up lässt sich somit als eine Balance, ein Kräftegleichgewicht beschreiben.

*Zeichnen Sie auf ein weißes Blatt Papier von unten nach oben zwei lange Linien, die nach oben leicht aufeinander zulau-  
fen. Nehmen Sie dann ein Lineal o. Ä. zu Hilfe, um zunächst knapp unterhalb der oberen Linienenden einen kurzen, waagerechten Strich (Strich 1) zu zeichnen, welcher die Linien links und rechts leicht überragt. Merken Sie sich die Länge dieses waagerechten Strichs 1 und zeichnen Sie knapp oberhalb des unteren Linienendes zwischen die beiden Linien und parallel zu Strich 1 einen zweiten, exakt gleich langen, waagerechten Strich (2). Dieser zweite Strich darf die Linien nicht berühren! Sie werden feststellen: Obwohl mit dem Lineal gemessen, wird es Ihnen nicht gelingen die kurzen Striche (1 und 2) als gleich lang wahrzunehmen.*

### Die Balance zwischen Top-Down und Bottom-Up

Geht man von einer Balance der beiden Komponenten aus, stellt sich die Frage, was alles dazu beiträgt, dass das System ausbalanciert ist und wie es eventuell auch aus der Balance geraten kann. Innere Konzepte sind kein statisches System, sondern im Lauf des Lebens erlerntes Wissen. Wie oben erwähnt ist das Konzept eines dreidimensionalen Raums auf einer zweidimensionalen Fläche so stark, dass es optische Eindrücke, die dieser Wahrnehmung widersprechen, überstimmt.

Bei unseren Experimenten mit der „Hohlmaske“<sup>7</sup> haben wir uns das Konzept von Gesichtern zunutze gemacht. Unsere alltägliche Erfahrung ist, dass ein Gesicht aus mehreren Komponenten besteht. Unter anderem erscheint uns die Nase als geometrische konvexe Figur nach vorne aus dem Gesicht herauszuragen. Die Hohlmaske ist eine Gesichtsmaske – wie man sie beispielsweise zu Karneval benutzt, die man von innen betrachtet. Schaut man von innen in die Hohlmaske erscheint die Nase nicht mehr konvex aus dem Gesicht herausragend, sondern läuft spitz hinter dem Gesicht zu. Stellt man sich mit ein wenig Abstand vor die Hohlmaske, ist man nicht mehr in

7) <https://www.youtube.com/watch?v=sKa0eaKsdA0>  
Videoanimation zur „Illusion der rotierenden Maske“)



der Lage die Maske als hohl zu erkennen. Stattdessen gewinnt man den Eindruck, auf die Maske von außen zu blicken. Unser Gehirn konstruiert uns ein normales Gesicht, indem es dem Konzept mehr „vertraut“ als der Wahrnehmung.

In einem experimentellen Aufbau haben wir Versuchspersonen Gesichter und andere Gegenstände in einer dreidimensionalen Optik betrachten lassen. Die Bilder waren so präpariert, dass sie einerseits in der gewohnten Weise und andererseits in einer invertierten Weise dargestellt wurden. Für die Aufnahmen von Gesichtern führt die Inversion dazu, dass aus dem normalen konvexen Gesicht ein konkaves wird und somit ein hohles Gesicht entsteht. In mehreren Versuchsreihen wurden Bilder von Gesichtern, Gegenständen und Landschaften Versuchspersonen ohne psychiatrische Diagnose in Ruhe, nach Schlafentzug und nach Cannabiseinnahme und Versuchspersonen mit der Diagnose Schizophrenie gezeigt. Alle Bilder wurden in geometrisch korrekter und in vertauschter Anordnung gezeigt. Durch einen standardisierten Fragebogen wurde erfasst, wie die Gesichter wahrgenommen wurden und ob die Versuchspersonen in der Lage waren, die invertierten Gesichter als hohl wahrzunehmen. Später wurde die Versuchsanordnung mit ereigniskorrelierten Potenzialen und mit funktioneller Kernspintomographie fortgeführt (Schneider et al. 1996, 2002; Dima et al. 2009, 2010, 2011).

Die Ergebnisse zeigten einen deutlichen Unterschied in der Wahrnehmung besonders zwischen Proband\*innen in Ruhe und Proband\*innen mit der Diagnose Schizophrenie. Während Erstere – wie zu erwarten – die invertierten Gesichter nicht als hohl erkannten, war dies bei der Patient\*innengruppe, aber auch bei (psychiatrisch unauffälligen) Proband\*innen nach Schlafentzug oder Cannabiskonsum anders. Dies lässt sich als Hinweis darauf interpretieren, dass es in diesen Gruppen zu einer Veränderung der Balance zwischen Top-Down und Bottom-Up gekommen ist. Offensichtlich ist die Konzeptualisierung so weit geschwächt, dass die Wahrnehmung eines an sich unbekanntes Objekts möglich wurde. Dass sowohl nach Cannabiskonsum als auch nach Schlafentzug ähnliche Phänomene hervorgerufen wurden, führt zur Hypothese, dass die Balance zwischen Top-Down und Bottom-Up flexibel ist und sich von außen durch Drogen und Medikamente beeinflussen lässt – und, wie im Folgenden deutlich wird, auch durch den Kontext.

### **Die Abhängigkeit vom Kontext**

Alltägliche Erfahrungen zeigen, dass die Balance von Top-Down und Bottom-Up nicht nur von der unmittelbaren Wahrnehmung und den dazu passenden Konzepten geprägt ist, sondern auch von anderen Einflussgrößen.

Wir betrachten zunächst den Kontext, in dem eine Wahrnehmung entsteht. Dies lässt sich anhand eines gedanklichen Experiments veranschaulichen. Stellen Sie sich bitte vor, dass Sie mit ein paar guten Freund\*innen einen Spaziergang machen und

sich lebhaft unterhalten. Suchen Sie sich für diesen gedanklichen Spaziergang ein schönes Waldgebiet Ihrer Wahl aus. Achten Sie in Ihren Gedanken darauf, was in Ihrer Umgebung sonst noch wahrzunehmen ist. Sie könnten das Rauschen der Blätter hören, irgendetwas raschelt im trockenen Laub am Boden, Sie hören ein Knacken und vielleicht ab und zu mal Geräusche, die Sie nicht zuordnen können. Überlegen Sie bitte kurz, mit welchen Konzepten Sie diesen Phänomenen begegnen. Möglicherweise werden Sie denken, das ist der Wind und deswegen raschelt das Laub und da unten ist eine Maus langgelaufen, und Holz, das bricht halt ab und zu mal, weil es morsch ist. Sie begegnen diesen Wahrnehmungen mit stabilen Konzepten, die Sie seit Langem in sich gespeichert haben, so dass es zu keinerlei Konsequenzen in Ihrem Verhalten führt. Entsprechend den obigen Ausführungen gibt es eine Wahrnehmung „Geräusche im Wald“ als Information, die Bottom-Up geleitet ist. Demgegenüber steht ein Konzept „natürliche Ursache“, welches durch die Bottom-Up Information getriggert wird und Top-Down wirkt. Der aktuelle Kontext „Wald“ ist im Sinne dieses Gleichgewichts neutral. Daraus resultiert, dass sich das nachfolgende, beobachtbare Verhalten nicht weiter an den wahrgenommenen Geräuschen stört – das Geräusch kann locker im Konzept verschwinden, sozusagen. Man könnte schlussfolgern, dass in diesem Teil des Experiments das Verhalten größtenteils vom Konzept Top-Down gesteuert wird.

Jetzt wiederholen Sie diesen gedanklichen Spaziergang, in dem Sie nur den Kontext verändern und alle anderen Versuchsbedingungen gleich lassen. Dies könnte bedeuten, dass Sie in Ihrer Vorstellung den Spaziergang allein unternehmen in einer wolkenverhangenen, stockdunklen Nacht. Stellen Sie sich vor, dass sich ansonsten die gleichen Wahrnehmungen einstellen. Das Laub rauscht in den Baumwipfeln, im Unterholz raschelt es und wieder hören Sie ein Knacken. Überlegen Sie nun, mit welchen Konzepten Sie Ihrer Wahrnehmung begegnen. Möglicherweise werden Sie sich umdrehen nach einem Geräusch, was Sie tagsüber nicht getan hätten, oder Sie würden anfangen leise zu singen oder wegzulaufen etc. ...

Wendet man das gleiche Schema wieder an, zwischen Wahrnehmung „Geräusch im Wald“, Konzept „natürliche Ursache“, Kontext „dunkler Wald“ und Bewertung „Gefahr“ und Verhalten „Furcht/Flucht“ stellt man fest, dass das Konzept „natürliche Ursache“ an Einfluss verloren hat. Es ist nicht verloren gegangen und wird beim nächsten Waldspaziergang am helllichten Tage wieder wirksam werden. Unter dem aktuell potenziell bedrohlichen Kontext ist es nicht mehr wirksam, und ein weniger differenziertes Konzept von „Selbsterhaltung“ wird dominant.

Wenn man das Experiment unter psychiatrischen Aspekten betrachtet, könnte man feststellen, dass das Verhalten unter der zweiten Bedingung die Kriterien des Wahns erfüllt. Es werden Dinge auf sich bezogen, die nichts mit einem selbst zu tun haben. Führen wir das Experiment noch etwas weiter, dann stellen Sie sich vor, dass Sie, um sich zu beruhigen, mit Ihrem Handy Ihre Freund\*innen anrufen und ihnen von Ihrer

Sorge berichten. Ihre guten Freunde werden daraufhin versuchen Sie zu beruhigen: „Du brauchst dir wirklich keine Sorgen machen, es droht keine Gefahr“. Das wiederum entlastet Sie nicht und kann Ihre Sorgen nicht mindern. Dann erfüllen Sie auch das zweite Kriterium für Wahn, da Sie offensichtlich den rationalen Erklärungsmustern von außen nicht mehr zugänglich sind. Dass solche Überlegungen Konsequenzen für den Umgang mit psychologischen/psychiatrischen Störungskonzepten nach sich ziehen (etwa im Sinne eines Fokus auf „Störung-im-Kontext“ anstelle „Störung-an-sich“), soll hier nur erwähnt werden. Die Diskussion wird an anderer Stelle engagiert geführt (z. B. Levold et al. 2011).

### **Die Balance zwischen Top-Down und Bottom-Up – eine autopoietische Herausforderung**

Es wird deutlich, dass es bei der Balance kein Richtig oder Falsch gibt, sondern lediglich ein Passend oder Unpassend, ein Nützlich oder Weniger-Nützlich. Die Entscheidung für mehr oder weniger großes Vertrauen in eigene Konzepte muss das Gehirn selbst treffen und kann nicht von außen vorgenommen werden.

Ganz wesentlich betroffen von diesem Prozess der Selbstregulation ist das Stirnhirn (frontaler Cortex). Insbesondere der vordere Anteil des frontalen (vorderen) Cortex (des präfrontalen Cortex) spielt hier eine besondere Rolle. Der präfrontale Cortex wird bei sehr vielen Aufgaben benötigt, die die menschlichen Fähigkeiten gegenüber anderen Lebewesen ausmachen. Er wird unter anderem beim abstrakten Denken, bei Handlungsplanung (Arbeitsgedächtnis) und Kreativität benötigt. Anders als die anderen Bereiche des Gehirns ist der präfrontale Cortex nicht in die unmittelbare Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen eingebunden und kann daher auch nicht durch direkte Einflussnahme von außen aktiviert werden. Zur Lösung von Problemen und Krisen ist es allerdings von herausragender Bedeutung, dass der präfrontale Cortex mit all seinen kreativen Fähigkeiten, Konzepten und Planungsmöglichkeit voll einsatzbereit ist.

Wir müssen uns gerade als systemische Berater\*innen und Therapeut\*innen, die ja nach der Idee arbeiten, hilfreich zu sein, indem sie die Ressourcen der Klient\*innen aktivieren, fragen, welchen Einfluss man auf diesen autopoietischen Prozess hat. Im Sinne der Kybernetik 2. Ordnung haben wir keine Möglichkeit der einseitig-eindeutigen Einflussnahme. Jedoch scheint die Art, wie wir beobachten, von Bedeutung.

Das obige Beispiel mit dem Waldspaziergang zeigt deutlich, dass jede Art von übermäßigem Stress die Wege zum präfrontalen Cortex versperrt. Angst bis hin zur Panik sind Momente, in denen keine kreativen Lösungswege mehr zur Verfügung stehen und nur nach bekannten rudimentären Verhaltensmustern gehandelt werden kann. Dies bedeutet, dass im Prozess von Beratung und Therapie eine Atmosphäre geschaffen werden sollte, in der sich Klient\*innen und Patient\*innen sicher fühlen.

In einer Atmosphäre der Sicherheit haben Menschen eher die Möglichkeit, als problematisch erlebte Aufgaben zu lösen. Nur wenn mit dem Lösungsversuch ein Insuffizienzgefühl einhergeht (das konnte ich noch nie, ich bin dazu zu dumm, andere werden über mich lachen, etc. etc. ...), wird die Aktivität des präfrontalen Cortex heruntergefahren. Wenn man in der Beratung zuerst diese Gefühle wachruft, bevor man für Sicherheit gesorgt hat, hat man die Tür fest verschlossen, durch die man eigentlich gehen will. Gelingt es stattdessen, dem scheinbar unlösbaren Problem mit einer Haltung der Zuversicht zu begegnen (miteinander im Gespräch zu „reframen“), dann ist es möglich, dass Menschen einen Zugang zu ihren Ressourcen entdecken und Ideen entwickeln. Diese wunderbaren Momente in Therapiesitzungen sind meist von erstaunlichen körperlichen Phänomenen begleitet. Nicht selten hat man das Gefühl, der/die Patient\*in würde innerhalb von wenigen Momenten wachsen. Zu welchen Leistungen psychisch kranke Menschen unter diesen Bedingungen fähig sind, konnten wir zeigen, als wir ein Modellprojekt gestartet haben, in dem wir Patient\*innen aus unserer Klinik in Ein-Euro-Jobs vermittelt und sie kontinuierlich weiter betreut haben. Die Integration der Patient\*innen in ein normales Arbeitsleben und das Zutrauen in ihre Fähigkeiten hatte erstaunliche gesundende Effekte (Dillo et al. 2010).

Systemische Techniken und vor allem eine Haltung der Veränderungsneutralität, respektvoller Neugier etc. sind hilfreich, gerade diesen autopoietischen Prozess dahingehend anzuregen, dass der präfrontale Cortex der Klient\*innen wieder zum Einsatz kommt. Insbesondere deswegen, weil man paradoxerweise als Therapeut\*in gar nicht das Ziel hat, dies zu erreichen, sondern stattdessen Respekt vor der autonomen Entscheidung des Menschen zeigt, wann und wo er seine Ressourcen nutzen will. So kann das Würdigen der Nichtveränderung ein Schritt in Richtung Sicherheit bedeuten.

### **Die Konkurrenz unterschiedlicher Konzepte**

Wenn wir in der Lage sind, unsere Konzepte für die Wahrnehmung und die Lösung von Problemen einzusetzen, kann es sein, dass wir unterschiedliche Konzepte haben, die miteinander konkurrieren. Wie das 4-Ohren-Modell von Schulz von Thun (1981/2011) zeigt, ist die Interpretation von Sprache abhängig von dem Konzept, für das wir uns beim Zuhören entscheiden.

Ein Radiosender aus Hannover hat vor einigen Jahren seine Hörer\*innen aufgefordert, Textpassagen von Popsongs einzusenden, bei denen sie offensichtlich einen falschen Text verstanden haben. Ein Hörer namens Mirco berichtet daraufhin, dass er in der Textzeile „I believe in miracles“<sup>8</sup> höre: „Alle lieben Mirco“. Tatsächlich kann

8) Aus dem Song „You Sexy Thing“ der britischen Band „Hot Chocolate“ aus dem Jahr 1975; Cover-Version „U Sexy Thing“ von „Clock“, 1997.

man nach mehrmaligem Hören der Liedzeile diesen Satz deutlich erkennen. Natürlich sind der Fantasie keine Grenzen gesetzt, weitere Interpretationen zu konstruieren. Beispielsweise wäre es auch möglich, „Eibe leaving Miracle“ zu hören. Aus „believe in“ wäre dann „leaving“ geworden und man müsste sich fragen, wer „Eibe“ ist und wen er oder sie verlässt. Auch eher sinnlose Konstruktionen, die sich direkt am Klang des Gehörten orientieren, wären denkbar: „Eibe lief in mirkel“.<sup>9</sup>

Da es offensichtlich mehrere Möglichkeiten der Interpretation dieser Liedzeile gibt, stellt sich die Frage, in welcher Weise die gehörten Laute in Verbindung gesetzt werden, wie die Plausibilitätskontrolle erfolgt und wie es letztendlich zu einer Entscheidung kommt. Das Verstehen der Textzeile lässt sich analog zum oben beschriebenen Prozess beim Lesen erklären. In den neuronalen Netzwerken der Hörrinde kommen die Impulse des Innenohres an und werden dort zunächst nach Silben ausgewertet: ei, al, le/be, lie, ben, ... . Von dort werden Impulse an höher gelegene Netzwerke geleitet, in denen Worte hinterlegt sind: I be-lie-ve, Al-le lie-ben ... . Auch hier wird das Wahrnehmungsergebnis wesentlich durch die übergeordneten Konzepte bestimmt. Es ist kein Zufall, dass der Hörer, der die Textpassage „Alle lieben Mirco“ erkannt hat, Mirco mit Vornamen heißt. Bei ihm besteht ein neuronales Netzwerk, das auf das Hören des Namens „Mirco“ stark reagiert, und bereits Laute, die ähnlich klingen wie Mirco, werden Antworten in Form von Aktionspotenzialen auslösen. Anders ist dies bei jemandem, der den Namen „Mirco“ zwar kennt, aber nur gelegentlich hört. Bei ihm ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei ihm ähnlich klingende Laute bereits eine Assoziation in Richtung Mirco wachrufen, eher gering. Das Hören von „miracle“ wird ihn eher an „Mirakel“ oder „Mirakoli“ denken lassen. Unvoreingenommene Hörer\*innen der Textpassage ohne Englischkenntnisse haben keine Konzepte zur Verfügung, die die Entscheidung für die eine oder andere Seite beeinflussen. Sie haben am ehesten die Möglichkeit, den Klang der Textpassage lautsprachlich zu hören.

Keine Interpretation ist die absolut richtige, vielmehr hat jede im Rahmen eines bestimmten Kontextes ihre Berechtigung. Die alltäglichen Erfahrungen machen dies deutlich. Möchte man zum Beispiel einen schwer verständlichen Text nur mitsingen, ist das Erkennen der Klanglaute wichtig und das Verständnis des Inhalts unbedeutend. Besteht dagegen die Aufgabe, den Text inhaltlich zu diskutieren, verzichtet man auf das exakte Verstehen der Klanglaute zugunsten eines Gesamtverständnisses.

Die Entscheidung, wie das Gehörte verstanden wird, hängt davon ab, welches Konzept stabiler ist oder welchem Konzept bewusst mehr Aufmerksamkeit zugewendet wird. Allerdings hat dies sicher Grenzen, sobald die Konzepte sehr ausgeprägt sind.

9) Dazu unnachahmlich: Axel Hacke (2004) *Der weiße Neger Wumbaba: Kleines Handbuch des Verhörens*. Antje Kunstmann, München. Zu den entsprechenden Rassismuskritiken siehe [https://de.wikipedia.org/wiki/Der\\_wei%C3%9Fe\\_Neger\\_Wumbaba](https://de.wikipedia.org/wiki/Der_wei%C3%9Fe_Neger_Wumbaba) und <https://www.zeit.de/2013/04/Sprache-Rassismus>.

Ein englischer „native speaker“ kann das „I“ wahrscheinlich nur als „Ich“ hören und wird kaum in der Lage sein darin ein „Al“ wahrzunehmen.

Das Gleiche gilt natürlich nicht nur für das Verstehen eines Satzes, sondern auch für das Verständnis eines Sachverhaltes. Wenn man besonders überzeugt ist und sich eine feste Meinung gebildet hat, dann ist das keine Aussage über den Sachverhalt, sondern es beschreibt die Dominanz eines inneren Konzeptes.

### Fazit

Es gibt in der Wissenschaft die Diskussion darüber, ob wir frei sind im Denken<sup>10</sup>. Anhand der vorgestellten Überlegungen lässt sich diese Frage sicher mit Nein beantworten. Wir sind abhängig von unseren Wahrnehmungen und unseren Konzepten. Aber wir haben die Freiheit, selbst zu entscheiden, was wir dazu beitragen, wie sich unsere Konzepte entwickeln. Darüber hinaus haben wir die Freiheit, unser Denken zu reflektieren, und jederzeit die Möglichkeit, Neues auszuprobieren.

Ich hoffe, ich konnte zeigen, dass das vorgestellte Modell des Konstruktivismus nicht zu einer Reduktion des Denkens auf chemische Prozesse führt, sondern im Gegenteil die Einzigartigkeit jedes Individuums, in seiner eigenen Art zu denken und zu handeln, unterstreicht.

### Literatur

- Dillo W, Lampen S, Neumann A, Steinmüller S, Wellmann B (2010) Die ressourcenorientierte Integration chronisch psychisch Kranker in den Arbeitsmarkt über Ein-Euro-Jobs – erste Erfahrungen eines Modellprojekts. *Fortschritte Neurologie und Psychiatrie* 78 (5):288-293
- Dima D, Roiser JP, Dietrich DE, Bonnemann C, Lanfermann H, Emrich HM, Dillo W (2009). Understanding why patients with schizophrenia do not perceive the hollow mask illusion using dynamic causal modelling. *Neuroimage* 46(4):1180-1186
- Dima D, Dietrich DE, Dillo W, Emrich HM (2010). Impaired top-down processes in schizophrenia: A DCM study of ERPs. *Neuroimage* 52(3):824-832
- Dima D, Dillo W, Bonnemann C, Emrich HM, Dietrich DE (2011). Reduced P300 and P600 amplitude in the hollow-mask illusion in patients with schizophrenia. *Psychiatry Research*, 191(2):145-151
- Hebb DO (2002) *The organization of behavior. A neuropsychological theory*. Erlbaum Books, Mahwah, N.J. (Nachdruck der Ausgabe 1949, New York)
- Hüther G (1997) *Biologie der Angst. Wie aus Streß Gefühle werden*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen

10) Publikumswirksam diskutiert unter dem Begriff „Willensfreiheit“, siehe sehr informativ: Matthias Eckoldt (2016) *Neue Erkenntnisse zur Willensfreiheit. Wie das Gehirn entscheidet*. Deutschlandfunk Kultur am 10.11.2016: [https://www.deutschlandfunkkultur.de/neue-erkenntnisse-zur-willensfreiheit-wie-das-gehirn.976.de.html?dram:article\\_id=371055](https://www.deutschlandfunkkultur.de/neue-erkenntnisse-zur-willensfreiheit-wie-das-gehirn.976.de.html?dram:article_id=371055) (5.2.2021)

- Fuchs T (2007) Das Gehirn – ein Beziehungsorgan. Eine phänomenologisch-ökologische Konzeption. Kohlhammer, Stuttgart
- Kandel E, Schwartz J, Jessell T (1995) Neurowissenschaften. Eine Einführung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Kippshagen HE (2011) Die Kraft der Einbildung. Wie mentales Imagery die Wahrnehmung ängstlicher Gesichter verändert. Eine fMRT-Studie. Dissertation, Georgs-August Universität Göttingen
- Levold T, Loth W, von Schlippe A & Schweitzer J (2011) Systemische Therapie und das „störungs-spezifische Wissen“. Ein Streitgespräch. Kontext 42(2):164-179
- Roth G (2003) Fühlen, Denken, Handeln: Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Suhrkamp, Berlin
- Roth G (2009) Aus Sicht des Gehirns. Suhrkamp, Berlin
- Roth G, Strüber N (2019) Wie das Gehirn die Seele macht. Klett-Cotta, Stuttgart
- Schneider U, Leweke FM, Sternemann U, Weber MM, Emrich HM (1996) Visual 3D illusion: A systems-theoretical approach to psychosis. European archives of psychiatry and clinical neuroscience 246 (5):256-260
- Schneider U, Borsutzky M, Seifert J, Leweke FM, Huber TJ, Rollnik JD, Emrich HM (2002) Reduced binocular depth inversion in schizophrenic patients. Journal of schizophrenia research 53(1-2):101-108
- Schulz v. Thun I (1981, 2011) Miteinander reden 1. Störungen und Klärungen: Allgemeine Psychologie der Kommunikation. Rowohlt, Reinbek
- Simon FB (2020) Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus (9. Aufl.). Carl-Auer Compact, Heidelberg

Wolfgang Dillo

dillo@systemischepraxis-hannover.de

