

2 Ereignisse

Der 11. September 2001 wird den meisten von uns sehr gut im Gedächtnis bleiben: Kurz vor und kurz nach drei Uhr nachmittags mittel-europäischer Zeit (bzw. kurz vor und kurz nach neun Uhr morgens an der Ostküste der USA) rasten zwei von Terroristen entführte und gesteuerte Passagiermaschinen in die beiden Türme des World Trade Centers in New York. Wer die Bilder gesehen hat, dem gehen sie nicht mehr aus dem Kopf: Zwei brennende Wolkenkratzer, die innerhalb einer Stunde in sich zusammenfallen und Tausende unschuldiger Menschen unter sich begraben. Wo genau waren Sie, als Sie davon das erste Mal hörten? Wer war noch bei Ihnen? Mit wem haben Sie als Erstes darüber gesprochen?

Die meisten Menschen können diese Fragen ganz unschwer beantworten, wohingegen der Nachmittag des 10. oder 12. Septembers für die gleichen Menschen für immer im Nebel der nicht mehr erinnerbaren Vergangenheit verschwunden ist. Viele dachten zunächst, sie sähen einen Hollywoodfilm oder es würde ihnen jemand, der ihnen von der schrecklichen Nachricht erzählt, einen Streich spielen, so unglaublich waren die Nachrichten aus den USA.

Diese Nachrichten wiesen damit zwei Qualitäten auf, die unser Gehirn gleichsam automatisch dazu veranlassen, Ereignisse genauso, wie sie sind und wie sie von uns in dem Moment erlebt werden, abzuspeichern: *Neuigkeit* und *Bedeutsamkeit*. Wichtige Neuigkeiten hören wir *einmal*, und schon haben wir sie uns gemerkt.

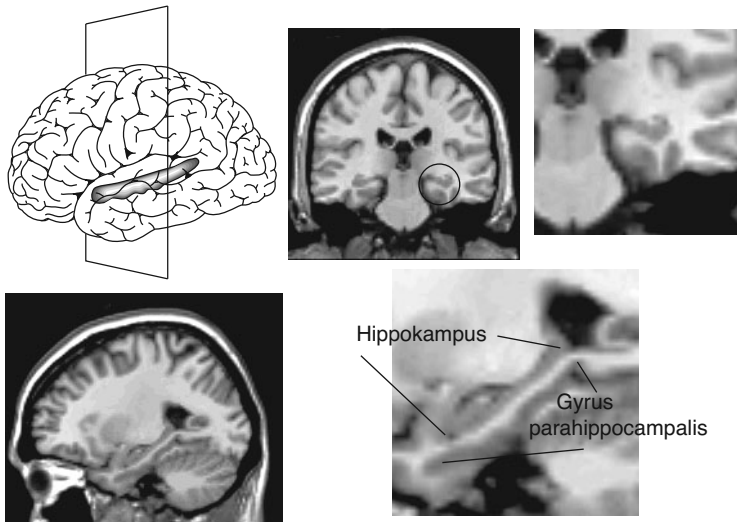
Nicht nur politische Ereignisse besitzen den Charakter von Wichtigkeit und Neuigkeit: Die meisten Menschen können sich auch noch an ihren Hochzeitstag, den ersten Kuss, die erste Umarmung, die erste Liebeserklärung oder die erste Nacht mit dem Partner erinnern, also an bedeutungsvolle Ereignisse in ihrem persönlichen Leben.

Der Hippokampus

Tief im Inneren des Gehirns, genau genommen an der Innenseite des Schläfenlappens der Großhirnrinde, liegt jeweils rechts und links der Hippokampus (siehe Abb. 2.1). Der eigenartige griechische Name heißt wörtlich übersetzt *Seepferdchen*, wenn auch die Form dieses Gehirnteils nur mit sehr viel Phantasie an ein solches erinnert. Seit etwa einem halben Jahrhundert ist bekannt, dass diese Struktur für das Lernen von Ereignissen sehr wichtig ist: Soll ein neuer Sachverhalt gelernt werden, so muss er erst einmal vom Hippokampus aufgenommen werden.

Weltweite Berühmtheit in der neurowissenschaftlichen Gemeinschaft erlangte der Patient H.M., dem wegen einer ansonsten nicht behandelbaren Epilepsie der Hippokampus und angrenzende Teile des Gehirns auf beiden Seiten operativ entfernt wurden. Der Patient war danach auf den ersten Blick völlig normal. Es zeigte sich jedoch, dass er unfähig war, neue Ereignisse zu lernen. Die Ärzte und Psychologen, die ihn über Jahre hinweg untersuchten, mussten sich ihm bei jedem Besuch neu vorstellen; er hatte vergessen, mit wem er es beim letzten Mal zu tun gehabt hatte. H.M. konnte immer wieder die gleiche Tageszeitung lesen und überrascht sein von der Neuigkeit der Nachrichten. Ganz schlimm wurde es, als er einmal umziehen musste. Er fand sich in seiner neuen Wohnung nicht zurecht.

In krassem Gegensatz zu seiner Unfähigkeit, neue Einzelereignisse zu lernen, stand das erhalten gebliebene Erlernen einer Fertigkeit. So brachte man H.M. beispielsweise das Schreiben von Spiegelschrift bei, und er hatte damit keine Schwierigkeiten, sondern lernte dies wie jeder andere auch. Man kann durchaus vermuten, dass H.M. nach der Ope-



2.1 Schematische Darstellung der Lage des linken Hippokampus im menschlichen Gehirn (links oben) und in Schnittbildern (Magnetresonanztomographie) in der angedeuteten Ebene (oben Mitte). Der linke Hippokampus ist eingekreist (man schaut auf das Bild von vorne, daher liegt der *linke* Hippokampus *rechts*, ebenso wie mein linker Scheitel und mein linkes Auge auf meinem Passfoto rechts liegt). Oben rechts ist eine Ausschnittvergrößerung zu sehen. Unten ist ein Schnittbild des Gehirns entlang des Hippokampus von vorne nach hinten zu sehen (Übersicht links, Ausschnittvergrößerung rechts).

ration auch das Fahrradfahren hätte lernen können, völlig unbeeinträchtigt, wie jeder andere Mensch auch, wenn er es nicht schon zuvor gekonnt hätte.

Mittlerweile liegen sehr viele Erkenntnisse über den Hippokampus vor. Er ist kleiner als mein Großzeh, aber so wichtig, dass es seit 1989 eine eigene Zeitschrift gibt, die seinen Namen trägt und in der Forschungsergebnisse über ihn berichtet werden (von meinem Zeh kann ich dies nicht behaupten). Der Hippokampus ist zum Lernen einzelner Ereignisse unabdingbar. Am Beispiel des Patienten H.M. wird aber auch klar, wofür man den Hippokampus nicht braucht: Werden

Fertigkeiten oder allgemeine Regeln durch vielfaches Üben gelernt, so geht dies ohne Hippokampus (vgl. hierzu Kap. 4). Gerade weil jedoch der Hippokampus für das Lernen von Ereignissen so wichtig ist und weil sich an dieser Art des Lernens bestimmte Funktionsprinzipien besonders gut und einfach aufzeigen lassen, lohnt es sich, ihm dabei besonders genau und mit modernsten Methoden zuzuschauen. Anders ausgedrückt: Will man etwas über das Lernen lernen, dann ist der Hippokampus das ideale Studienobjekt.

Ortszellen zur Navigation

Das Standardbeispiel einzelner Ereignisse sind Orte. Dies mag zunächst etwas eigenartig erscheinen, aber denken wir einen Moment nach: Es gibt keinen allgemeinen Ort, es gibt nur diesen oder jenen ganz konkreten jeweils einzelnen, individuellen Ort. Einen Ort im Allgemeinen, *den* allgemeinen Ort, gibt es nicht. Wenn Sie sich in Berlin gut auskennen und kommen nach Hamburg, nutzt Ihnen das Wissen über Berlin nichts. Ortskenntnis ist Kenntnis einzelner Fakten, einzelner Straßenzüge, Häuserfronten, Merkmale etc.

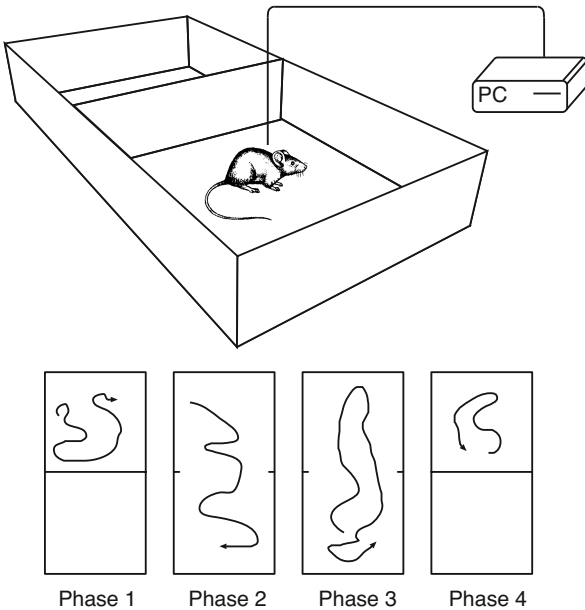
Dies ist deswegen von großer Bedeutung, weil man Ortskenntnisse auch im Tierversuch untersuchen kann. Man kann Tiere ja nicht nach dem 11. September oder der ersten Nacht mit dem Partner fragen, denn man kann sie überhaupt nichts fragen. Es ist daher wichtig, sich klarzumachen, dass die Untersuchung von Ortskenntnis einen bedeutenden Weg darstellt, das Lernen von Einzelereignissen im Tierexperiment zu studieren. In praktischer Hinsicht ist die Untersuchung der Ortskenntnis daher von größter Bedeutung. Keineswegs folgt daraus, dass Tiere im Hippokampus *nur* Orte gespeichert haben oder gar dass der Hippokampus grundsätzlich nur für die Speicherung von Orten und das Zurechtfinden zuständig wäre. Beides hat man früher einmal angenommen; beides trifft jedoch nicht zu (vgl. Wood et al. 1999).

Tiere müssen sich zurechtfinden und sie lernen dies mit unglaublicher Geschwindigkeit. Schon lange weiß man, dass sie hierzu ihren Hippokampus benötigen, denn nach dessen beidseitiger Entfernung

können Tiere Ortsinformationen nicht lernen. Beim Menschen ist dies auch so, wie das oben angeführte Beispiel des nach seinem Umzug in die neue Wohnung völlig hilflosen Patienten H.M. zeigt.

Im Tierversuch ist es möglich, dem Hippokampus beim Lernen neuer Ortsinformationen zuzuschauen. Wie genau geschieht dies, wie werden neue Orte gelernt? Das klassische Experiment hierzu wurde 1993 in der Zeitschrift *Science* publiziert (vgl. hierzu auch Spitzer 1996, S. 86ff). Die beiden US-amerikanischen Wissenschaftler Matthew Wilson und Bruce McNaughton pflanzten etwa 100 winzige Drähtchen in den Hippokampus von Ratten ein, um die Aktivität einzelner Nervenzellen abzuleiten. Seit einigen Jahren bereits wusste man, dass die Zellen im Hippokampus teilweise ortsspezifisch reagieren: Eine Zelle feuert genau dann, wenn sich die Ratte an einem bestimmten Ort ihrer Lebenswelt befindet. Man nennt eine solche Zelle daher auch Ortszelle (engl.: *place cell*).

Wilson und McNaughton wollten herausfinden, wie lange es dauert, bis solche Ortsinformationen von einem Organismus erworben werden. Hierzu setzten sie die Tiere in einen Käfig (siehe Abb. 2.2), in dem kleine Schokoladenkügelchen Anreiz waren, sich gut umzuschauen. An den Wänden des Kastens befand sich zur räumlichen Orientierung der Tiere eine Reihe visueller und taktile Reize (in der Abbildung nicht zu sehen). Anhand des Aktivitätsmusters der abgeleiteten Neuronen zeigte sich, dass 20 bis 30 Prozent der Neuronen tatsächlich Ortszellen waren: Jedes Neuron hatte eine Vorliebe für einen bestimmten Platz im Käfig und feuerte immer dann besonders stark, wenn sich die Ratte an diesem Platz befand. Das für die hintere linke Ecke zuständige Neuron feuerte also beispielsweise dann am stärksten, wenn sich das Tier in der linken hinteren Ecke befand. Es feuerte aber auch dann (und zwar schwächer), wenn sich das Tier in der Nähe der linken hinteren Ecke aufhielt. Im Hippokampus wird die Lokalisation des Tieres im Raum also nicht nur durch ein einzelnes Neuron kodiert, sondern durch das variable Aktivitätsmuster vieler Neuronen, die mit Ortskodierung beschäftigt sind (Abb. 2.3).



2.2 Schematische Darstellung des Experiments von Wilson und McNaughton (oben). Die Ratte konnte sich zunächst nur im vorderen Teil des Kastens (Größe: 62 x 124 cm) frei bewegen, dessen andere Hälfte durch eine undurchsichtige Absperrung für die Tiere unzugänglich war. Am Kopf des Tieres befand sich eine Ableitvorrichtung, deren Signale mittels leistungsfähiger Computer weiterverarbeitet wurden. Betrachtet man den Kasten von oben, dann lässt sich die Aktivität der Ratte in den vier jeweils zehn Minuten dauernden Phasen des Experiments leicht darstellen (Mitte): In den Phasen 1 und 4 läuft die Ratte nur in der einen Hälfte umher, in den Phasen 2 und 3 dagegen im gesamten ungeteilten Kasten.

Mit Hilfe leistungsfähiger Computer kann man aus diesen Informationen, also daraus, welches Neuron (das für eine bestimmte Stelle steht) wie stark aktiv ist, berechnen, wo sich die Ratte gerade befindet! Dies mag manchem Leser trivial erscheinen (Motto: um zu wissen, wo die Ratte im Käfig ist, brauche ich doch nur hinzusehen), man stelle sich jedoch vor: Hier werden Impulse aus den Tiefen des Gehirns eines

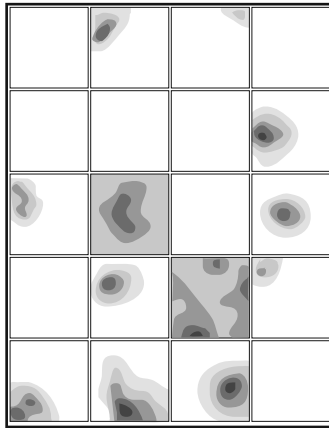
Versuchstiers abgeleitet und daraus berechnet, wo sich das Tier gerade aufhält. Damit ist klar, dass die abgeleitete Information tatsächlich den Ortskode der Ratte darstellt und dass man genau diesen Kode offenbar geknackt hat.

Damit war man aber noch nicht am Ende des Experiments, es ging vielmehr erst richtig los. Was geschieht, wenn die Ratten sich mit einer neuen Umgebung vertraut machen? Um dies herauszufinden, ließ man sie zunächst wie gewohnt für zehn Minuten im Kasten und öffnete dann die Absperrung zur anderen Hälfte für zwei Mal zehn Minuten, sodass die Tiere sich in dieser Zeit auch in der anderen Hälfte des Kastens frei bewegen konnten. Sie taten dies, denn auch dort gab es Schokoladenstreusel auf dem Fußboden. Danach wurde die Absperrung wieder für zehn Minuten angebracht.

Neuronale Repräsentationen

Während der gesamten 40 Minuten wurden die Tiere gefilmt und die elektrische Aktivität der Neuronen im Hippokampus aufgezeichnet. Hierbei zeigte sich erneut, dass der Aufenthaltsort der Tiere während der ersten zehn Minuten in der bekannten Hälfte des Kastens (Phase 1) gut vorhergesagt werden konnte. In den nächsten 10 Minuten (Phase 2) war dies nur für Bewegungen in der alten Hälfte des Kastens möglich: Bewegte sich die Ratte in dieser Zeit in der noch unbekanntem Kasten­hälfte, war der Vorhersagefehler groß. Auch war die Anzahl der Neuronen, die einen bestimmten Ort in der neuen Kasten­hälfte kodierten, noch relativ gering. Sie hatten die neuen Orte ja noch nicht gelernt! Damit waren diese Orte im Hippokampus der Tiere noch nicht *repräsentiert* (lat. *re* = wieder, *praesentare* = vergegenwärtigen).

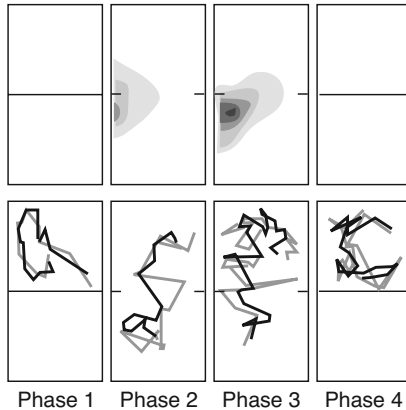
Nach Gelegenheit zum Auskundschaften der neuen Umgebung, d.h. im Zeitraum von der 11. bis 20. Minute nach Öffnung der Absperrung (Phase 3), hatte sich dies jedoch geändert: Die Anzahl der Ortszellen war gestiegen, der Vorhersagefehler gefallen. Es dauerte also nur zehn Minuten, bis einige Neuronen im Hippokampus den neuen



2.3 Schematische Darstellung eines Teils der Originaldaten von Wilson und McNaughton (1993, S. 1057). Die zwanzig Quadrate stellen die Hälfte des geteilten Kastens dar. In jedes Quadrat ist die Aktivität eines einzigen Neurons in Graustufen in Abhängigkeit vom Aufenthaltsort der Ratte im Kasten während der ersten Versuchsphase eingezeichnet. So ist beispielsweise das im linken oberen Quadrat repräsentierte Neuron während dieser Zeit nicht aktiv; das im linken oberen Quadrat rechts daneben repräsentierte Neuron hingegen ist immer dann aktiv, wenn sich die Ratte in der linken oberen Ecke des Kastens (in der Aufsicht) befindet; das Quadrat rechts daneben zeigt die Aktivität eines Neurons, das nur bei Aufenthalt in der rechten oberen Ecke des Kastens aktiv ist, also diesen Ort im Kasten kodiert. Insgesamt zeigt etwa die Hälfte der in der Abbildung durch entsprechende Quadrate repräsentierte Neuronen eine ortsabhängige Aktivität, d.h. kodiert den Raum.

Teil des Kastens gelernt hatten. In diesen zehn Minuten entstanden also *neue Repräsentationen*, d.h. Neuronen, die nur bei ganz bestimmtem Input feuern und damit auf diesen spezialisiert sind (Abb. 2.4).

Dies hatte nicht zum Verlernen der bereits gespeicherten räumlichen Verhältnisse in der alten Kastenhälfte geführt: In der vierten Phase des Versuchs, d.h. nach erneuter Absperrung und zehnminütigem Aufenthalt in der alten Kastenhälfte, zeigten sich kaum Abweichungen von Phase 1. Die alten Repräsentationen waren noch



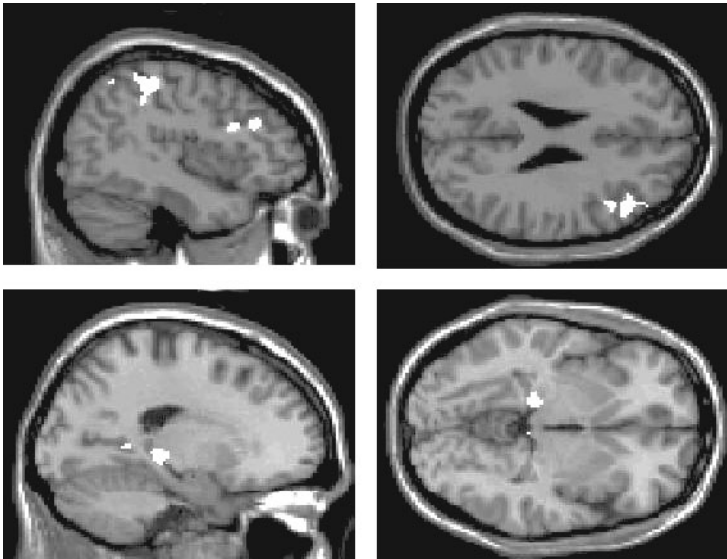
2.4 Die obere Reihe zeigt die Aktivität eines Neurons (dargestellt über das Rechteck des gesamten Kastens), das zunächst nicht aktiv war, jedoch während der beiden Lernphasen eine räumliche Repräsentation für einen Ort im neuen Teil des Kastens herausbildete. Die untere Reihe zeigt eine Wegstrecke, die die Ratte jeweils während der verschiedenen Phasen des Experiments zurückgelegt hat (graue Linie), sowie den aus der Aktivität der (ortskodierenden) Neuronen berechneten entsprechenden Weg (dunkle Linie). Mit Ausnahme von Bewegungen in dem für das Tier neuen Teil des Kastens während Phase 2 ist die Übereinstimmung erstaunlich gut, d.h. die Kenntnis der Entladungsraten der Neuronen, die Orte kodieren, ermöglicht die Vorhersage des Aufenthaltsortes des Tieres (nach Abb. 2 aus Wilson und McNaughton 1993, S. 1057).

da. Mit ihnen konnte sich das Tier orientieren, und man konnte die Informationen über neuronale Aktivität nach wie vor zur Vorhersage von dessen Ort im Raum nutzen.

Halten wir fest: Als die Tiere den neuen Raum betraten, war dieser noch nicht durch Neuronen im Hippokampus repräsentiert. Neue Erfahrungen in der neuen Kastenhälfte bewirkten jedoch sehr schnelle Veränderungen im Hippokampus der Tiere mit dem Ergebnis, dass nach wenigen Minuten neue Repräsentationen der Umgebung aufgebaut worden waren.

Neuronenwachstum für Orte und Vokabeln

Die Ergebnisse zur Repräsentation von Einzelheiten im Hippokampus gelten auch für den Menschen. Wer sich in einem Irrgarten befindet und den Weg hinaus sucht, der muss beispielsweise sehr rasch eine Vorstellung von dem ihn umgebenden Raum ausbilden. Wir konnten durch die Untersuchung der Gehirnaktivierung gesunder Probanden bei dieser Tätigkeit mittels eines virtuellen Labyrinths nachweisen, dass der Hippokampus beim Sich-Zurechtfinden tatsächlich aktiv ist (vgl. Abb. 2.5).



2.5 Aktivierung des Hippokampus beim Herausfinden aus einem virtuellen Labyrinth (Groen et al. 2000). Männer schneiden in dieser Aufgabe im Mittel besser ab als Frauen. Sie bewerkstelligen sie vor allem mit dem Hippokampus (Bilder unten), wohingegen Frauen die Aufgabe vorrangig mit dem rechten frontalen und parietalen Kortex lösen (oben).



<http://www.springer.com/978-3-8274-1723-7>

Lernen

Gehirnforschung und die Schule des Lebens

Spitzer, M.

2006, XVI, 512 S., Softcover

ISBN: 978-3-8274-1723-7