

Spion beim lieben Gott

Das interessanteste Forschungsobjekt dieser Welt, abgesehen von der Welt selbst, war für **Valentin Braitenberg** das Gehirn. Um das komplizierteste aller Organe zu ergründen, verbrachte der ehemalige Direktor am Tübinger **Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik** Tausende Stunden am Mikroskop. Dabei studierte er den Faserverlauf in verschiedenen Hirnregionen und suchte nach deren Funktionen.

TEXT **ELKE MAIER**

Rom, 1948. Im anatomischen Labor einer Nervenklinik – dort, wo sich Neurologen am Seziertisch bemühen, die Ursache von Sprachausfällen, Bewegungsstörungen und geistiger Umnachtung ausfindig zu machen – wirft ein ambitionierter Medizinstudent den Blick auf ein Stück Hirngewebe im Mikroskop. Was er sieht, wird ihn nicht mehr loslassen: „Ein Gerüst aus feinen Fäden, so zahlreich und so fein, dass auch die stärkste Vergrößerung des Mikroskops kaum ausreichte, um sie alle genau zu sehen. Die Fäden verliefen zum Teil in Bündeln und in Schichten nach bestimmten Richtungen geordnet, zum Teil anscheinend regellos kreuz und quer durch das Gewebe. Eingebettet in diesen Faserfilz konnte man kugelige Gebilde ausmachen, die Zellkerne der Nervenzellen [...]“

Der Student heißt Valentin Braitenberg. Das Erlebnis im Labor wird seine Laufbahn prägen. Als er im September vergangenen Jahres im Alter von 85 Jahren stirbt, zählt er weltweit zu den renommiertesten Hirnforschern. Damals hatte sich der Medizinstudent in den Kopf gesetzt, das Netzwerk im Gehirn zu erforschen. Denn in diesem Dickicht, davon war er überzeugt, lag der Schlüssel zum Verständnis dessen, „wie die psychischen Funktionen aus unserem Kopf entspringen“.

Braitenbergs Professoren zeigten sich weniger optimistisch: Ganz einfach weil die Komplexität der Vorgänge die analytischen Fähigkeiten des Menschen übersteigt, seien sie nicht zu verstehen. Sie hielten das Fasergeflecht für undurchdringlichen Wirrwarr und rieten dem Studenten, nicht allzu viele Gedanken an die darin verborgenen Gehirnfunktionen zu verschwenden.

Doch so leicht ließ sich Valentin Braitenberg von seinen Ideen nicht abbringen, zumal ein spitzbärtiger, Zigarren rauchender Mathematikprofessor aus Massachusetts noch Öl ins Feuer goss: Norbert Wiener, einstiges Wunderkind und Mitbegründer der Forschungsrichtung Kybernetik, hatte im selben Jahr ein Buch mit dem Titel *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* herausgebracht. Es vermittelte etwas von der Aufbruch-

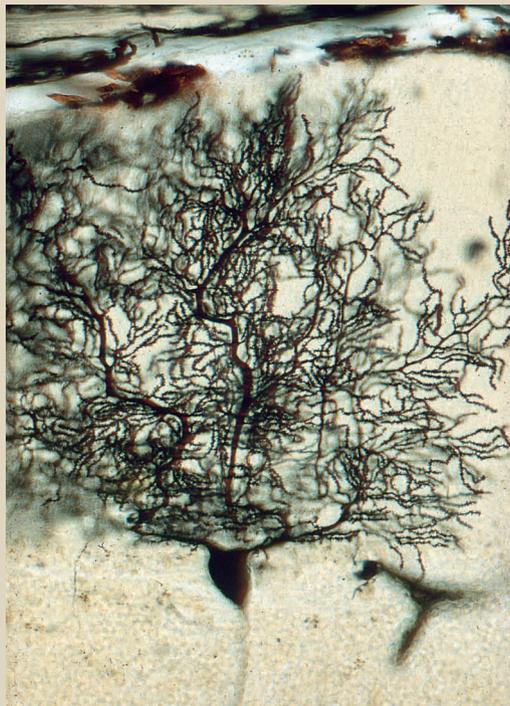
stimmung angesichts der neuen elektronischen Rechenanlagen, die für einige Wissenschaftler den Beginn eines neuen Zeitalters einläuteten. Die Lektüre machte auf Braitenberg großen Eindruck. Waren nicht auch diese Rechner so komplex, dass sie von außen nicht zu durchschauen waren? Und waren sie nicht trotzdem von jemandem konstruiert, der sie voll und ganz durchdacht haben musste?

Nach seinem Studium in Innsbruck und Rom machte Valentin Braitenberg, geboren am 18. Juni 1926 in Bozen, seinen Facharzt in Neurologie und Psychiatrie und habilitierte sich in Informationstheorie und Kybernetik – jener Wissenschaft, die sich mit den Steuerungsvorgängen in lebenden Organismen und Maschinen beschäftigt. Als Professor für Kybernetik an der Universität Neapel und von 1968 an als Direktor am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen widmete er sich der wichtigsten Steuerzentrale des Körpers.

Seine Vorgehensweise war die eines Neuroanatomen: Sein Ziel war es, die für einen bestimmten Hirnteil typische Struktur zu erfassen, um daraus die Funktion abzuleiten. Als „Spionage beim lieben Gott“ bezeichnete er diese Arbeit gern, für die er nach eigenen Angaben mindestens 10 000 Stunden am Mikroskop saß, „um dünne Hirnschnitte von oben bis unten und kreuz und quer bei hundert- bis hunderttausendfacher Vergrößerung zu betrachten“. Dabei habe er „ähnlich viel Vergnügen empfunden wie ein anderer, der gleich viel Zeit auf Weltreisen zugebracht hat“.

Viele vergnügliche Stunden verbrachten er und seine Kollegen Werner Reichardt, Karl Georg Götz und Kuno Kirschfeld auch am Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, an das er im Jahr 1968 als Direktor berufen wurde. Dort widmete sich das

Baum der Erkenntnis: Im Kleinhirn herrscht strenge geometrische Ordnung. Aus dem Faserverlauf von Nervenzellen schloss Valentin Braitenberg auf die Funktion bestimmter Hirnareale.



Baum der Erkenntnis: Im Kleinhirn herrscht strenge geometrische Ordnung. Aus dem Faserverlauf von Nervenzellen schloss Valentin Braitenberg auf die Funktion bestimmter Hirnareale.

Forscherquartett dem Studium der Gemeinen Stubenfliege *Musca domestica*. Ziel war es, deren Sehsystem zu durchschauen. Als Labor-Haustier für Neurowissenschaftler hat die Fliege den Vorteil, dass Auge und Gehirn wohlgeordnet vorliegen und dass das Insekt auf bestimmte Reize immer auf dieselbe Weise reagiert. Das erleichtert es den Wissenschaftlern, die zugrunde liegenden Mechanismen zu untersuchen.

Wie bei Insekten üblich, sieht eine Fliege die Welt mit Komplexaugen – kugeligen Gebilden aus Hunderten bis Tausenden von stabförmigen Einzelaugen, die an der Oberfläche wabenartig aneinanderstoßen. Jedes dieser sogenannten Ommatidien ist mit einer eigenen Linse ausgestattet und nimmt einen kleinen Ausschnitt der Umgebung auf. Im Gehirn entsteht aus den vielen Einzelbildern daraufhin ein zusammenhängendes Mosaikbild. Aber wie müssen die Einzelaugen verschaltet sein, damit keine Lücken entstehen oder sich mehrere Mosaiksteinchen überlagern?

Dieser Frage gingen die Forscher anhand von hauchdünnen Gewebeschnitten nach, die sie anfärbten und im Mikroskop studierten, um den Faserverlauf zu rekonstruieren. Das Ergebnis dieser Fleißarbeit waren die ersten detaillierten Schaltpläne des Fliegenauges. Erstaunt waren die Wissenschaftler vor allem darüber, wie präzise die 3000 Ommatidien eines Auges verkabelt sind. So leiten jeweils sechs benachbarte Einzelaugen ihre Signale über dasselbe Kabel an eine gemeinsame Nervenzelle, welche die Informationen bündelt und weitergibt. Das Gehirn kann dadurch störendes Rauschen herausfiltern, ehe es die Einzelbilder zu einem Gesamtbild verrechnet.

FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG VOM 14. SEPTEMBER 2011



Was es über die in der Natur verborgene Intelligenz zu wissen gibt, hätte man kaum überzeugender vorführen können als Valentino Braitenberg: Seine vierzehn Maschinen – „Vehikel“ nannte er sie schlicht – haben in der Robotik, als er längst emeritiert war, fast Kultstatus erlangt.«

Das räumliche Auflösungsvermögen, das die Fliege damit erzielt, ist zwar im Vergleich zum Menschen schlechter, dafür aber ist die zeitliche Auflösung wesentlich besser. Als Kinobesucher sieht *Musca domestica* deshalb auch keinen durchgehenden Handlungsverlauf auf der Leinwand, sondern eine Abfolge einzelner Standbilder. Bei schnellen Flugmanövern oder beim Ausweichen vor der Fliegenklatsche erweist sich die hohe Zeitauflösung aber als Vorteil.

Beim Betrachten der verschiedenen Arten von Nervengewebe bei Fliegen, Fröschen, Mäusen und Menschen stießen Valentin Braitenberg und seine Mitarbeiter immer wieder auf Gewebetypen mit streng geometrischer Ordnung, während in anderen ein scheinbares Durcheinander herrschte, sodass die Forscher erst nach Auszählen der Verknüpfungen und anschließender statistischer Analyse hinter die Strukturprinzipien kamen. Der erste Typ ist charakteristisch für das Kleinhirn, der zweite für die Großhirnrinde. Für beide Formen fanden die Tübinger Forscher eine Erklärung.



Pionier der Netzwerkanalyse: Valentin Braitenberg.

Demnach ist die strenge Gliederung des Kleinhirns mit seinen parallelen, exakt in zwei Richtungen verlaufenden Fasern notwendig, um präzise zeitliche Abläufe zu koordinieren, wie sie für die Abstimmung feinsten Bewegungen notwendig sind – beim Geigenspiel etwa, das Valentin Braitenberg virtuos beherrschte. Der lockere Aufbau der Großhirnrinde mit ihren wie zufällig verstreuten Nervenzellen ist hingegen flexibel genug, um beim Lernen neue Verbindungen zu knüpfen und die Lücken mit neuem Wissen zu

füllen. Erst so kann das Großhirn seine Aufgabe als assoziativer Speicher wahrnehmen. Die Idee, aus dem Fasergewirr auf die Funktion zu schließen, war also seinerzeit keineswegs nur das Hirngespinnst eines jugendlichen Forschers.

Bei der Interpretation der feinen Strukturen geht Valentin Braitenberg folgendermaßen vor: „Ich tue nämlich so, als hätte ein sehr kluger, anonymer Ingenieur die ganze ihm zur Verfügung stehende Information über die Umwelt des Tieres verwertet, um eine möglichst effiziente Verschaltung der Nervenzellen im Innern des Gehirns zu entwerfen.“

Schließlich schlüpft er selbst in die Rolle des Ingenieurs – mit einem Gedankenexperiment, das ihn in der Roboterszene bekannt machte und das inzwischen vielfach auch praktisch umgesetzt worden ist: In seinem Buch *Vehikel – Experimente mit künstlichen Wesen* entwirft er vierzehn immer komplexer werdende Maschinen und zeigt damit, dass sich schon mit verblüffend einfachen Mechanismen komplexes Verhalten erzeugen lässt.

Das erste dieser imaginären Wesen ist ein schlichtes motorgetriebenes Wägelchen mit einem Temperatursensor. Seine Reaktionen sind noch einfach zu durchschauen: In einer warmen Umgebung fährt es schneller als in einer kalten. Das höchstentwickelte Vehikel Nummer vierzehn vermittelt dagegen bereits den Eindruck, als habe es einen freien Willen und könne selbstständig Entscheidungen treffen. Trotzdem ist es nur ein überschaubares Konstrukt aus Drähten, Schaltern, Schwellenelementen und Detektoren – und kein Vergleich mit dem menschlichen Gehirn mit seinen hundert Milliarden Nervenzellen und seinen eine Million Kilometer langen Fasern, die aneinandergelegt von der Erde um den Mond herum und wieder zurück reichen würden.

„Wenn Sie sich das Innere des Petersdomes in Rom ausgefüllt denken mit einer Unmenge von etwa einen Millimeter dicken Fäden, die das Gebäude in alle Richtungen durchziehen, so dicht, dass ein fester Filz entsteht, dann haben Sie ein Bild des Gehirns bei tausendfacher Vergrößerung vor sich“, schreibt Braitenberg.

Kein Wunder also, dass wir bei vielen Fragen in Sachen Gehirn momentan noch ratlos vor unserem eigenen Kopf stehen. Ein Blick in die Vergangenheit aber verrät, wie viel mehr wir dank Forschern wie Valentin Braitenberg schon wissen: Jahrhundertlang hielten die Gelehrten die weiche Masse im Inneren des Schädels lediglich für „Schleim zur Kühlung des Herzens“.