

Im Bordcomputer der Fliege

Rund ein tausendstel Gramm wiegt das Gehirn einer Stubenfliege, doch kann das Insekt dank dieser winzigen Steuerzentrale in Sekundenbruchteilen Bilder auswerten und rasante Flugmanöver steuern. Wie die Bewegungsdetektoren im Fliegenhirn funktionieren, beschrieb vor mehr als 50 Jahren **Werner Reichardt**, Gründungsdirektor am **Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik** in Tübingen.

TEXT **ELKE MAIER**

Die Jagd auf Fluginsekten scheint Erfinder zu beflügeln. Auf der Website des Deutschen Patent- und Markenamts fördert der Suchbegriff „Fliegenklatsche“ sechs Patente zutage, darunter ein Modell speziell „zum Töten von Insekten an der Zimmerdecke“ oder ein anderes, bei dem ein eingebauter Ministaubsauger „ohne zusätzliche Verfahrensschritte das Aufsammeln der erschlagenen Fliegen vereinfacht“.

Selbst mit ausgeklügelter Technik ist der Jagderfolg nicht garantiert, denn die Beute verfügt über ein erstaunliches Reaktionsvermögen. Wie die wendigen Insekten Bewegungen registrieren und in Kurssteuersignale umsetzen, untersuchte Werner Reichardt am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen.

Werner Reichardt wurde 1924 in Berlin geboren. Als Schüler verbrachte er manch freien Nachmittag als Laborant im Privatlabor von Hans Erich Hollmann, dem Entwickler der Ultrakurzwellentechnik. Selbstständig arbeitete sich der junge Forscher in Maxwells Theorie der elektromagnetischen Wellen ein und wurde so zu einem Experten auf diesem Gebiet. Das sollte ihm fast zum Verhängnis werden.

Wegen seiner Spezialkenntnisse wurde Reichardt im Krieg als Funkmesstechniker zur Luftwaffe eingezogen. In einem der Entwicklungslabors traf er auf engagierte Regimegegner und schloss sich ihnen an. Seine Fähigkeiten nutzte er, um eine geheime Funkverbindung zu den Westalliierten aufzubauen. Gegen Kriegsende flog die Widerstandsgruppe auf. Reichardt wurde verhaftet und zum Tode verurteilt. Während eines Luftangriffs auf Berlin konnte er gemeinsam mit einigen Mithäftlingen fliehen.

Nach dem Krieg studierte Werner Reichardt an der Technischen Universität Berlin Physik und promovierte am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft. Im Laufe seiner weiteren Karriere wandte er sich jedoch immer mehr der Biologie zu. Ausschlaggebend dafür war der Zoologe Bernhard Hassenstein, den er auf einem Kommando während des Krieges kennengelernt und der in ihm das Interesse für biologische Fragen geweckt hatte. Sollten sie überleben, so beschlossen sie damals, dann würden sie ein gemeinsames Forschungsprojekt auf die Beine stellen.

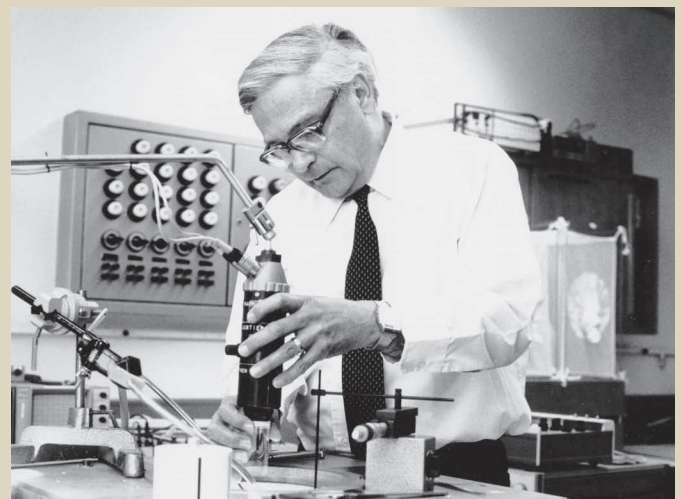
Im Jahr 1950 setzten die beiden ihr Vorhaben in die Tat um. Hassenstein arbeitete als Assistent bei Erich von Holst am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Wilhelmshaven und hatte

Reichardt von seinen Experimenten zum Bewegungssehen des Rüsselkäfers *Chlorophanus viridis* erzählt. Reichardt erkannte, dass der kleine grüne Gelbrandrüssler sich hervorragend eignete, um ein allgemeines Modell zum Bewegungssehen zu entwickeln.

So wie alle Insekten sieht auch *Chlorophanus* die Welt mit Komplexaugen. Sie bestehen aus Hunderten von Einzelaugen, von denen jedes einen kleinen Ausschnitt der Umgebung aufnimmt. Das Gehirn verrechnet die vielen Einzelaufnahmen zu einem zusammenhängenden Mosaikbild. Aber wie nimmt das Insekt Bewegungen und die Bewegungsrichtung wahr?

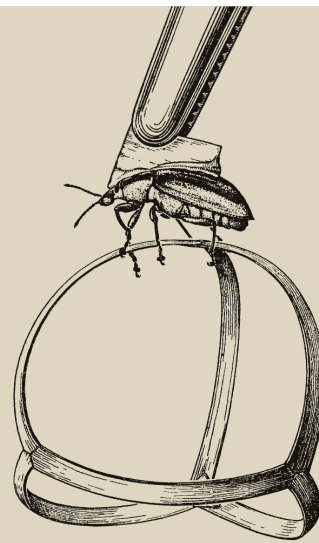
Werner Reichardt näherte sich der Frage vom Standpunkt eines Ingenieurs, der die Funktionsweise einer unbekanntenen Maschine ergründen will. Aus den Experimenten am Rüsselkäfer zog er Rückschlüsse darauf, wie die Strukturen aussehen müssen, die als Reaktion auf äußere Reize ein bestimmtes Verhalten hervorbringen.

Der Aufbau des Experiments war so genial wie einfach: „Das Versuchstier ist mit seinem Rückenpanzer an ein Stückchen Pappe geklebt, das von einer Pinzette gehalten wird“, heißt es in der Beschreibung. „In dieser Situation wird ihm ein Gebilde aus Stroh, der Span-



Das Fliegenhirn im Fokus: Werner Reichardt in seinem Labor im Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik.

Rüsselkäfer als Versuchskaninchen: Mithilfe eines sogenannten Spangenglobus untersucht ein einfaches Experiment die Bewegungswahrnehmung von *Chlorophanus viridis*.



genglobus gereicht, den es freiwillig festhält.“ Besagter Spangenglobus war ein rundes Gebilde aus sechs gebogenen Strohhalmen; sie waren so angeordnet, dass an vier Punkten je drei dieser Halme aufeinandertrafen und Y-förmige Kreuzungspunkte bildeten.

Machte der Käfer nun Laufbewegungen, so drehte sich das Strohgebilde unter seinen Füßen. Das vermittelte ihm offenbar den Eindruck, als liefe er selbst kopfüber einen Ast entlang. Und genauso wie bei einem Spaziergang durchs Geäst kam er auch hier nach ein paar Schritten immer wieder an einen Kreuzungspunkt, an dem er sich für eine Richtung entscheiden musste.

Normalerweise wählt das Insekt gleich häufig rechts und links. Das änderte sich jedoch, wenn die Forscher ihren Versuchsteilnehmer in der Mitte eines sich drehenden Hohlzylinders fixierten, der innen mit senkrechten schwarzen und weißen Streifen bemalt war. Drehte sich das Streifenkarussell um den Probanden herum nach rechts, so tendierte dieser in dieselbe Richtung. Die Stärke dieser angeborenen optomotorischen Reaktion ließ sich durch die Breite

FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG vom 23. September 1992

» Mit eleganten, virtuos angelegten Versuchsanordnungen gelang es Reichardt, die Sinnesverarbeitung von den unteren zu immer höheren Ebenen hin zu verfolgen. Je tiefer er und seine Mitarbeiter in die Geheimnisse des winzigen Fliegenhirns eindringen, desto deutlicher wurde, welch Wunderwerk die Natur zustande gebracht hat.«

der Streifen und die Drehgeschwindigkeit beeinflussen. Anhand vieler Versuche quantifizierten die Forscher das Wahlverhalten des Rüsselkäfers. Die Ergebnisse bildeten die Basis für ein theoretisches Modell; es beschrieb, nach welchem Prinzip die elementaren Bewegungsdetektoren bei Insekten funktionieren.

Demnach erzeugt ein bewegtes Objekt Helligkeitsunterschiede, die von den lichtempfindlichen Zellen im Facettenauge erfasst werden. Ein Bewegungsdetektor besteht aus zwei solchen Zellen, die diese Lichtreize zeitlich versetzt empfangen und ihre Information an eine gemeinsame Schaltstelle weiterleiten. Diese nachgeschaltete Nervenzelle vergleicht den Zeitabstand der beiden Impulse, und das Gehirn errechnet daraus die Richtung. Ähnlich wie sich mithilfe zweier Lichtschranken feststellen lässt, in welche Richtung eine Person gelaufen ist, registriert das Insektenhirn auf diese Weise Bewegungen.

Hassenstein und Reichardt veröffentlichten ihr Modell im Jahr 1956 unter dem etwas sperrigen Titel *Systemtheoretische Analyse der Zeit-, Reihenfolgen- und Vorzeichenauswertung bei der Bewegungsperzeption des Rüsselkäfers Chlorophanus*. Zwei Jahre später wurde ihnen gemeinsam mit dem Elektroniker Hans Wenking die Leitung der Forschungsgruppe Kybernetik am Max-Planck-Institut für Biologie in Tübingen übertragen. Sie bildete die Keimzelle des 1968 gegründeten Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik. Bernhard Hassenstein wechselte 1960 nach Freiburg. Werner Reichardt forschte bis zu seiner Emeritierung im Januar 1992 in Tübingen. Im selben Jahr starb er.

Anstelle des Gelbrandrüsslers nahm am Tübinger Institut die Gemeine Stubenfliege *Musca domestica* den Platz im Streifenkarussell ein. Sie war nicht nur sehr vermehrungsfreudig und einfach zu halten, sondern bot mit ihren virtuoson Flugkünsten auch ein äußerst ergiebiges Forschungsobjekt. Mit Wachsplättchen fixierten die Forscher ihre sechsbeinigen Probanden in der Mitte ihres Flugsimulators, sodass sie mit den Flügeln schlugen, ohne dabei vom Fleck zu kommen. Nun konnten die Forscher bequem und unter kontrollierten Bedingungen die Reaktion der Fliegen auf unterschiedliche visuelle Reize aufzeichnen.

In zahllosen Versuchen klärten Werner Reichardt und seine Kollegen faszinierende Details zum Bewegungssehen auf, etwa wie es dem Insekt gelingt, Figur und Hintergrund zu unterscheiden und Objekte gezielt anzusteuern. Damit schufen die Tübinger Wissenschaftler wichtige Grundlagen zum Verständnis höherer Sehleistungen. Auch auf zellulärer Ebene drangen sie immer weiter ins Cockpit der Fliege vor. So untersuchten etwa Martin Egelhaaf und andere Forscher der Gruppe mithilfe feiner Messsonden, welche Nervenzellen aktiv sind, wenn das Insekt auf bestimmte visuelle Reize reagiert.

Wie genau die von Reichardt und Hassenstein beschriebenen Bewegungsdetektoren aussahen, blieb allerdings ein Rätsel. Handelte es sich dabei etwa um dieselben Zellen, die der berühmte spanische Neuroanatom Santiago Ramón y Cajal bereits im Jahr 1915 entdeckt und als „merkwürdige Elemente mit zwei Büscheln“ beschrieben hatte? Mehr als 50 Jahre lang war diese Frage so etwas wie der Heilige Gral der Fliegenforschung.

Denn die Büschelzellen sind viel zu klein, als dass man ihre elektrischen Signale mithilfe von Messsonden ableiten könnte. Erst als den Wissenschaftlern spezielle Fluoreszenzproteine zur Verfügung standen, die leuchten, sobald die Zelle aktiv ist, wurde das Rätsel gelöst. Alexander Borst, Direktor am Max-Planck-Institut für Neurobiologie in Martinsried, und seine Kollegen haben mithilfe solcher Proteine die Büschelzellen der Fruchtfliege *Drosophila* sichtbar gemacht und ihre Aktivität gemessen. Und tatsächlich: Bei den mysteriösen Zellen handelt es sich um die elementaren Bewegungsdetektoren, die Werner Reichardt und Bernhard Hassenstein 1956 beschrieben hatten.

Französische Forscher haben übrigens schon vor vielen Jahren einen „Fliegenroboter“ entwickelt, der nach dem von Reichardt und Hassenstein vorgeschlagenen Prinzip Bewegungen wahrnimmt. Mit elektronischen Facettenaugen manövriert er auf drei Rädern durch ein Labyrinth. „Die Maschine kann allerdings nicht fliegen und ist auch sonst nur zu vergleichsweise kläglichen Leistungen fähig“, kommentierte 1994 die FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG. Ihr viel kleineres geflügeltes Vorbild ist bis heute unerreicht.