QUANTENSPRUNG

Vielzeller – im zweiten Versuch

Die Geschichte des Lebens ist kein konstanter Prozess stetig zunehmender Komplexität. Die ältesten Fossilfunde von Lebensformen sind etwa 3,5 Milliarden Jahre alt. Danach geschah fast drei Milliarden Jahre lang zumindest äußerlich nicht viel. Es blieb sehr, sehr lange bei Bakterien und einzelligen Organismen.

Der große Schritt zu mehrzelligen Lebewesen passierte erst vor rund 580 Millionen Jahren. Damit konnten nicht nur viel größere Lebewesen entstehen, sondern auch komplexere, die auf der Aufgabenteilung und Spezialisierung verschiedener Zelltypen basieren. Fast alle der heute lebenden Vielzeller lassen sich, von Biologen in Stämme unterteilt, auf ein kleines Zeitfenster zurückführen: Ihre Vorfahren entstanden vor etwa 545 Millionen Jahren im Erdzeitalter „Kambrium" in einem erdgeschichtlichen Augenblick von vielleicht 20 Millionen Jahren.

AXEL MEYER
Professor für Evolutionsbiologie, Konstanz

Aber was geschah davor? Fand der Sprung vom ein- zum mehrzelligen Leben wirklich erst im Kambrium statt? Schon Charles Darwin vermutete, dass es auch in vorkambrischer Zeit bereits mehrzellige Lebensformen gegeben haben musste. Aber fossile Reste von diesen waren zu seiner Zeit noch nicht bekannt. Seit dem Fund der ersten vorkambrischen Fossilien vor fast genau 50 Jahren versteht man „Darwins Dilemma" immer besser. Diese Fauna wurde auf ein Alter von etwa 580 bis 545 Millionen Jahren datiert. Erst seit 2004 wird der Zeitraum offiziell „Ediacarium" genannt – nach einer Hügelkette in Australien, wo die ersten dieser Fossilien entdeckt wurden.

Ein Teil dieser Ediacara-Fauna glich in Form und Größe einer Pizza. Diese bis zu vier Meter großen Gewächse siedelten kolonieartig in der Tiefsee. Ähnliche Formen wurden später weltweit gefunden. Sie waren offensichtlich recht erfolgreich. Aber alle starben trotzdem schon nach etwa 30 Millionen wieder aus – genauso plötzlich, wie sie aufgetaucht waren.

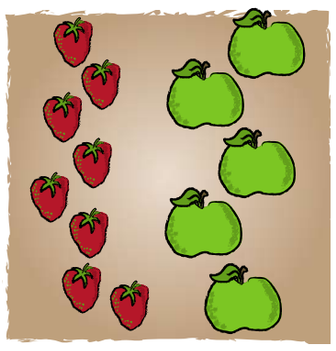
Sie scheinen keine Nachfahren hinterlassen zu haben. Die meisten Biologen nehmen an, dass es keine genetische Verbindung zwischen der vorkambrischen ediacarischen Fauna und den noch heute existierenden Lebewesen kambrischen Ursprungs gibt. Die Fauna des Ediacariums war ein gescheitertes Experiment der Evolution, das, obwohl erfolgreich in seiner Zeit, zum Auslaufmodell wurde. Erst beim zweiten Versuch im Kambrium entstand explosionsartig eine vielzellige Komplexität, zu der auch 540 Millionen Jahre danach noch der Mensch gehört, denn so weit reichen die Wurzeln unseres Stamms zurück.

wissenschaft@handelsblatt.com

Mathematik mangelhaft

Rechenschwäche ist ebenso verbreitet wie Legasthenie. Was dabei im Gehirn falsch läuft, wird aber erst jetzt erforscht.

ULRICH KRAFT | DÜSSELDORF



Auf welcher Seite sind mehr Früchte – links oder rechts? Ist doch kinderleicht, werden Sie sich denken. Links natürlich, schließlich liegen da acht Erdbeeren und rechts nur fünf Äpfel. Der Anteil der Menschen, die diese Frage vor große Schwierigkeiten stellt, liegt genau zwischen diesen Werten – bei fünf bis sechs Prozent. Sie leiden unter Dyskalkulie, einer angeborenen Rechenschwäche, die weit darüber hinausgeht, „Mathe einfach nicht so gut zu finden. Dyskalkulikern mangelt es grundsätzlich am Zahlenverständnis, vor allem die semantischen Zusammenhänge zwischen Zahlen und Mengen bereiten ihnen enorme Probleme", erklärt die Neurobiologin Karin Kucian von der Uni Zürich. „Sie können zum Beispiel nicht einschätzen, ob zehn Euro für drei Brötchen viel oder wenig sind."

Woran das liegt, möchte Kucian gern herausfinden. Deshalb lässt sie Kinder mit Dyskalkulie im Magnetresonanztomografen kopfrechnen und schaut, was dabei im Gehirn passiert. „Unser Ziel ist, die neuronalen Korrelate der Rechenschwäche zu identifizieren." Hier sieht die 30-Jährige jede Menge Nachholbedarf. So sei die Forschung bei der Lese-Rechtschreib-Schwäche sehr viel weiter – obwohl beide Störungen etwa gleich häufig sind. „In jeder Schulklasse sitzt ein Kind mit Dyskalkulie, und meist stößt es auf Unverständnis, weil kaum jemand das Krankheitsbild überhaupt kennt", berichtet Kucian. „Dabei ist der Leidensdruck der Betroffenen oft sehr hoch."

Sich ohne ein minimales Verständnis numerischer Größen und einfacher Rechenoperationen im Alltag zurechtzufinden ist fast ein Ding der Unmöglichkeit. Ob man im Restaurant das Portemonnaie zum Bezahlen zückt, die Tabelle der Fußballbundesliga studiert oder den kürzesten Weg mit dem Auto zur Ostsee überschlägt – ständig wird der Mensch mit Zahlen konfrontiert, in den unterschiedlichsten Zusammenhängen. Angesichts dieser Omnipräsenz überrascht es schon, wie lange die Forschung das Feld außer Acht ließ. Erst seit das Fachblatt „Cognition" der Zahlenverarbeitung 1992 eine komplette Ausgabe widmete, gilt sie als eigenständiges neurowissenschaftliches Forschungsgebiet. „In den vergangenen fünf Jahren ist der Bereich regelrecht explodiert", weiß Karin Kucian. „Jetzt interessiert sich jede Menge Wissenschaftler dafür, wie Ziffern und Mengen im Gehirn repräsentiert und prozessiert werden – und so langsam kommen wir der Sache auch näher."

Fest steht, dass der Mensch bereits mit einem gewissen Gefühl für Zahlen geboren wird. So können Säuglinge vom ersten Tag an die Größe kleiner Mengen erfassen und etwa zwischen zwei und drei Objekten unterscheiden. Wenn Kinder dann mit Zahlensymbolen Bekanntschaft machen – zum Beispiel unseren arabischen Ziffern –, entwickeln sie auf Grundlage dieser angeborenen numerischen Kompetenz die Fähigkeit zu einer abstrakt-räumlichen Vorstellung von Zahlen. Der so genannte mentale Zahlenstrahl entsteht. Tatsächlich ist das so etwas wie eine „Linie im Gehirn", auf der die einzelnen Ziffern der Größe nach angeordnet sind. Allem Anschein nach befindet er sich im Parietalcortex, denn Patienten mit einer Schädigung in diesem auch als Scheitellappen bezeichneten Bereich der Hirnrinde scheitern an einfachsten Rechenaufgaben. „Vor allem ein Areal, der intraparietale Sulcus, ist immer aktiv, wenn Zahlen im Spiel sind", erläutert Kucian.

Gibt es ein Zahlenzentrum im Hirn?

Kein Wunder, dass die Wissenschaft dieser Region besondere Aufmerksamkeit widmet. So auch Roi Cohen Kadosh, der am Londoner University College nach den Wurzeln der Dyskalkulie fahndet. Zu sich ins Labor bat er allerdings Studenten mit vollkommen normalen mathematischen Fähigkeiten. Also gesunde Menschen, die Zahlen „fast automatisch" wahrnehmen, wie Kadosh sagt. Ihnen präsentierte er Zahlenpaare, die stets nach dem gleichen Muster aufgebaut waren: eine Zahl in kleiner Schriftgröße – „3" etwa – und eine in großer – sagen wir „6". Wenn Versuchspersonen dann durch Drücken der entsprechenden Taste angeben müssen, welche Ziffer größer gedruckt ist, geht das bei diesem Beispiel blitzschnell. Ist die „3" aber größer abgebildet als die „6", verlängert sich die Reaktionszeit. Physische Gestalt und Wert widersprechen sich in gewisser Weise, und dies scheint das Gehirn für einen winzigen Moment zu verwirren, weil es Zahlen eben normalerweise automatisch nach ihrer numerischen Größe einordnet und zueinander in Beziehung setzt.

Foto: Christoph Papsch - vario images

Selbst einfache Rechenaufgaben werden zum unlösbaren Problem. Dyskalkulie ist allerdings nicht durch eine allgemein mindere Intelligenz erklärbar.

Bei Dyskalkulikern gibt es diesen Unterschied nicht. Sie ordnen die groß gedruckte „6" weder schneller noch langsamer ein als die große „3". Dass der Zahlenwert die Wahrnehmung der Ziffern-Größe kaum beeinflusst, werten Wissenschaftler als Indiz dafür, dass die Zuordnung von Ziffern auf dem mentalen Zahlenstrahl in ihrem Denkorgan nicht so automatisiert abläuft wie üblich. Mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) suchte Roi Cohen Kadoshs Team zunächst nach der Hirnregion, die beim Bearbeiten der Testaufgaben besonders aktiv ist. Es war der rechte intraparietale Sulcus. Den legten die Forscher dann per transkranieller Magnetstimulation – also durch starke Magnetfelder, die durch den Schädel (lat. cranium) wirken – für einige hundert Millisekunden lahm. Und siehe da: Plötzlich besaß auch bei den Studenten die numerische Größe der Zahl nur noch untergeordnete Bedeutung. In dem kurzen Zeitraum hatten sich ihre Gehirne ganz ähnlich verhalten wie bei Menschen mit Rechenschwäche, so die Forscher in der aktuellen Ausgabe von „Current Biology". „Dies ist ein starker Beleg dafür, dass die Dyskalkulie durch Fehlbildungen im rechten parietalen Cortex verursacht wird", meint Cohen Kadosh.

Neuronale Mannschaftsleistung

Für Karin Kucian führt dieser Schluss zu weit. „Um mit Zahlen umzugehen, braucht man ein ganzes Netzwerk von Hirnarealen, das sich je nach Aufgabenstellung ein wenig unterscheidet", sagt sie und gibt das Beispiel der Restaurantrechnung: „Als Erstes müssen Sie die Ziffern erkennen, das passiert im Occipitalhirn. Mit Hilfe des mentalen Zahlenstrahls schätzen Sie dann ab: Ist das okay oder zu viel? Im Zweifelsfall rechnen Sie nach – und dazu beanspruchen Sie Ihr Arbeitsgedächtnis."

Sie konfrontiert ihre Kinder-Probanden daher mit verschiedenen Tests: von simplen Additionen über konkrete Mengenvergleiche wie den mit den Äpfeln und den Erdbeeren bis hin zur Frage, ob das Ergebnis von 2+3 näher bei 7 oder 10 liegt. Letzteres bereitet vielen Dyskalkulikern schier unlösbare Probleme – und Kucians magnetresonanztomografische Untersuchungen zeigen warum. Rechenschwache Kinder aktivieren bei dieser Aufgabe zwar dasselbe Netz von Hirnregionen wie gesunde Gleichaltrige, doch die beteiligten Nervenzellen feuern deutlich schwächer. Vor allem im intraparietalen Sulcus, aber eben nicht nur dort. „Jedes Kind hat seine eigene Dyskalkulie, die einen können dies nicht, die anderen etwas anderes", meint Kucian. „Wenn man bedenkt, dass verschiedene Areale des neuronalen Zahlennetzwerks für unterschiedliche Aspekte zuständig sind, ist das auch vollkommen schlüssig." Rechnen ist für das Gehirn also ein Mannschaftssport. Und um zu wissen, was passiert, wenn einzelne Spieler ausfallen, muss man kein Trainer sein: Das gesamte Team wird geschwächt.

NEU ENTDECKTE „SUPER-ERDE" liegt in der bewohnbaren Zone des Sternensystems „Gliese 581" – und bleibt doch unerreichbar

Ein Planet, der keinen Namen trägt

FERDINAND KNAUSS | DÜSSELDORF

Auf diese Meldung haben Star-Trek-Fans und andere Raumfahrtphantasten gewartet: „Astronomen entdecken ersten bewohnbaren Planeten bei anderem Stern" titelte begeistert die Deutsche Presse-Agentur. Na, dann können wir ja unsere altersgeschwächte und zunehmend in Hitzewallungen geratende Erde demnächst verlassen und auf die namenlose „Super-Erde" umsiedeln, die den Stern „Gliese 581" umrundet.

Der im Fachjournal „Astronomy & Astrophysics" beschriebene noch namenlose Planet bietet genug Platz (anderthalbfacher Erdradius) und vermutlich wohnliche 0 bis 40 Grad Celsius. „Modellen zufolge sollte dieser Planet entweder felsig sein wie die Erde – oder von Ozeanen bedeckt", sagt Stéphane Udry vom Observatorium Genf. „Wasser ist entscheidend für Leben, wie wir es kennen", sagt sein Kollege Xavier Delfosse von der Universität Grenoble.

Gliese 581 strahlt mindestens 50-mal schwächer als unser Tagesgestirn, die Sonne, und gehört daher zu den „Roten Zwergen". Die Super-Erde liegt in der „bewohnbaren Zone". So nennt man die Entfernung zu einem Stern, die dafür sorgt, dass Wasser an der Oberfläche eines Planeten flüssig ist.

„Angesichts seiner Temperaturen und relativen Nähe wird dieser Planet höchstwahrscheinlich ein sehr wichtiges Ziel für künftige Raumflüge auf der Suche nach außerirdischem Leben sein", sagt Delfosse.

Zur Ernüchterung derer, die glauben, wir könnten bald die Koffer packen, sei aber angemerkt: Die „Super-Erde ist mehr als 20 Lichtjahre entfernt, also bräuchte selbst ein mit Lichtgeschwindigkeit fliegendes Raumschiff 20 Jahre, um dort hinzugelangen.

Für die „USS Enterprise" aus der Star-Trek-Reihe mit ihrer „Warp-Geschwindigkeit" wäre das ein Katzensprung. In dieser Phantasie-Parallel-Welt wird der Warp-Antrieb in den letzten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts entwickelt. Zuvor aber sterben einige hundert Millionen Menschen – nicht in einer Klimakatastrophe, sondern in einem Atomkrieg.

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE
DI ESSAY
MI GEISTESWISSENSCHAFTEN
DO NATURWISSENSCHAFTEN
FR LITERATUR

Warum der Bierschaum gröber wird

FERDINAND KNAUSS | DÜSSELDORF

Jeder Biertrinker weiß: Die Schaumkrone bleibt nicht lange bestehen. Mathematiker haben nun eine Gleichung erstellt, die bei der Vorhersage helfen könnte, wie schnell sich der Schaum verändert.

Das könnte in vielen Industrieprozessen nützlich sein. Denn Zellenstrukturen, wie etwa Schäume und kristalline Körnungen in Metallen und Keramiken, sind in der Natur – und in Werkstoffen – allgegenwärtig. Die Wände zwischen den Blasen können sich unter dem Druck der Oberflächenspannung verschieben, mit einer Geschwindigkeit proportional zur Krümmung der Wände. Die Struktur wird dadurch gröber – wie der Schaum eines nicht mehr ganz so frischen Bieres.

Vor mehr als 50 Jahren hatte der Mathematiker John von Neumann bereits eine Formel für das Oberflächenwachstum der Zellen in einer zweidimensionalen Struktur hergeleitet, wonach solche mit mehr als sechs Ecken wachsen, jene mit weniger als sechs Ecken schrumpfen. Sechsecke bleiben stabil – wie die Bienenwabe. In einer ungleichmäßigen, mehr als sechseckigen Zelle streben alle Seiten danach, die Oberflächenspannung gleichmäßig zu halten und die Innenwinkel auf 120 Grad auszurichten – wie in einem gleichmäßigen Sechseck. Dadurch nimmt die Fläche des Vielecks zu.

Robert D. MacPherson vom Institute for Advanced Study in Princeton und David D. Srolovitz von der Yeshiva University in New York stellen nun in der Zeitschrift „Nature" dasselbe für eine dreidimensionale Struktur vor: Sie folgern die Geschwindigkeit der Volumenveränderung einer dreidimensionalen Zelle aus zwei eindimensionalen Größen: der „durchschnittlichen Breite" der Zelle und der Summe der Kantenlängen. Wie im Fall der zweidimensionalen Zelle erklärt die Gleichung ein Wachstum, das die Oberflächenspannung ausgleicht und gleichbleibende Winkel bewahrt. Die Geschwindigkeit des Wachstums aber ist dagegen nicht mehr konstant, sondern ändert sich mit der Zellengröße.

David Kinderlehrer von der Carnegie-Mellon-Universität macht in einem begleitenden Kommentar aber auf den theoretischen Charakter der Erkenntnisse aufmerksam. Reale physikalische Netzstrukturen seien von Ungleichheiten und Richtungsabhängigkeiten (etwa elektrischer Ladung) geprägt. „Selbst im Abstrakten sind die Effekte solcher Eigentümlichkeiten unbekannt: Da betreten wir das Reich der Zufallsanalyse einfacher kombinatorischer Maßnahmen wie der Zerstörung von Zellen."