

Springers Einwürfe

Wie natürlich ist der Logarithmus?

Amazonas-Eingeborene haben angeborenen Zahlensinn bewahrt.

Über dem Eingang zur modernen Wissenschaft prangt Galileis Satz: »Das Buch der Natur ist mit mathematischen Symbolen geschrieben.« Wir haben gelernt, Entfernungen und Zeitabstände in Diagramme einzutragen, von Raumzeitkurven Differenziale und Integrale zu bilden. Mein Physikstudium war die ausgiebige Bestätigung für Galileis monumentalen Satz.

Doch gelegentlich kam es mir wie ein Wunder vor, dass die Mathematisierung der Naturprozesse überhaupt funktionieren konnte. Was hatten die Zahlen in meinem Kopf, bei denen ich mich nicht selten verrechnete, mit Vorgängen in der Außenwelt zu schaffen? Wieso ist die Natur so mathematisch oder die Mathematik so natürlich? Dieses philosophische Rätsel wird derzeit – wie so manch anderes Jahrhundertproblem – Gegenstand der Hirnforschung.

Grundvoraussetzung für das Beziffern räumlicher Verhältnisse ist eine Gabe unseres Gehirns, die der französische Neurowissenschaftler Stanislas Dehaene den Zahlensinn nennt: eine intuitiv hergestellte Beziehung zwischen Zahl und Raum. Schon dreijährige Kinder ordnen vorgeschene Zahlen auf einer Geraden nach der Größe – kleinere Zahlen links, größere rechts. Wie man durch bildgebende Verfahren weiß, sitzt der Zahlensinn in einer bestimmten Hirnregion, die auf das Kodieren räumlicher Parameter wie Größe, Ort und Blickrichtung spezialisiert ist.

In psychologischen Experimenten erwies sich dieser Zusammenhang zwischen Zahl und Raum als linear: Erwachsene ordnen Zahlen zwischen 1 und 100 auf einer endlichen Zahlenstrecke stets proportional zu deren Größe an, also 25 am Ende des ersten Viertels, 50 in der Mitte und so fort. Verallgemeinert ergibt das die vertraute Zahlengerade, auf der die natürlichen Zahlen von Null bis unendlich von links nach rechts in immer gleichem Abstand aufeinanderfolgen.

Dehaene wollte nachprüfen, ob diese Linearität angeboren oder kulturell erworben ist. Zu diesem Zweck erforschte er den Zahlensinn einer isoliert am Amazonas lebenden Eingeborenengruppe. Die Mundurucu kennen nur Worte für die Zahlen 1 bis 5; bei mehr Objekten sprechen sie pauschal von »einigen« oder »vielen«. Mit ihren kleinen Zahlen addieren und subtrahieren sie zuverlässig, können aber auch große Mengen mit bis zu 80 Objekten gut nach Größen ordnen – zwar nur angenähert, aber auch nicht schlechter als europäische Kontrollprobanden.

Dehaene bat die Mundurucu nun, die Größe unterschiedlicher Punktmengen – zwischen 1 und 10, in einem anderen Versuch zwischen 10 und 100 – auf einem Geradenstück anzuzeigen. Seine Probanden machten das geschickt, aber mit überraschendem Ergebnis. Sie ordneten die Zahlen nicht linear, sondern logarithmisch an (*»Science«, Bd. 320, S. 1217*). Bei Zahlen zwischen 1 und 10 setzten die Mundurucu also beispielsweise die 5 nicht in die Mitte der Strecke, sondern wie auf einer logarithmischen Skala mehr dem Ende zu. Auch die 50 landete nicht halbwegs zwischen 1 und 100, sondern stets näher bei 100. Da europäische Kindergartenkinder große Zahlen auf die gleiche Weise »stauchen«, zieht Dehaene den Schluss: Unser angeborener Zahlensinn funktioniert logarithmisch – wie unser Gehör, das Lautstärken nach logarithmischen Dezibel wahrnimmt – und wird erst durch kulturelle Einflüsse zur linearen Zahlengeraden gestreckt (siehe auch »Physikalische Unterhaltungen« auf S. 36).

Eigentlich schade, denke ich nun, dass ich meinen angeborenen Zahlensinn durch den Schuldrill eingebüßt habe. Vielleicht hätte ich im physikalischen Praktikum, statt damals unständig mit Logarithmentafeln zu hantieren, das meiste im Kopf rechnen können.



Michael Springer

Funktionsweise. Hat sich eines von ihnen an den Folatrezeptor einer Zelle gebunden, stülpt diese ihre Membran zu einem Bläschen ein, das den Rezeptor plus Partikel enthält, und schnürt es ab. Das resultierende Endosom wandert ins Innere der Zelle. Dabei werden durch spezielle Pumpen Protonen eingeschleust, die den pH-Wert in dem Bläschen auf bis zu 6 erniedrigen.

Infolgedessen quillt das Nanoteilchen auf und gibt seinen Wirkstoff ab. Schließlich sprengt es auf Grund seiner enormen Größe das Endosom und gelangt mit dem freigesetzten Medikament ins Zellplasma. Hier zieht es sich wegen des höheren pH-Werts wieder zusammen und setzt keinen Wirkstoff mehr frei.

Eine Krebszelle nimmt nun so lange Nanopartikel auf, bis genau die für sie tödliche Menge an Doxorubicin in ihr freigesetzt wurde. Dann stirbt sie ab und löst sich auf. Damit kommen auch die Nanopartikel wieder frei und können von benachbarten Tumorzellen aufgenommen werden und diese ebenfalls zerstören. Dem Forscherteam gelang es, zwei solcher Zyklen mit denselben Teilchen durchzuführen. Erst danach war die Menge an mitgeführtem Wirkstoff erschöpft.

Natürlich nehmen auch gesunde Körperzellen vereinzelt Nanopartikel auf und können so manchmal ebenfalls eine tödliche Giftdosis abbekommen. Weil sie nur wenige Folatrezeptoren auf der Oberfläche tragen, geschieht das jedoch vergleichsweise selten. Die Verpackung des Zytostatikums lohnt sich vor allem bei resistenten Krebszellen; denn in sie könnte das nackte Medikament gar nicht eindringen, so dass es ausschließlich gesunde Körperzellen angreifen würde.

Bisher haben die Forscher die Wirksamkeit der Nanopartikel nur an Zellkulturen nachgewiesen. Nun müssen Tests in lebenden Organismen folgen. Erst dann lassen sich auch Fragen wie die nach dem Abbau der Teilchen im Körper oder der Art ihrer Verabreichung klären. Falls auch die In-vivo-Tests erfolgreich sind, wäre das nicht nur ein großer Fortschritt bei der Krebsbekämpfung – dann könnten die Nanopartikel auch als Trojanische Pferde für andere Wirkstoffe und zur Behandlung anderer Krankheiten interessant sein.

Brigitte Osterath promoviert im Fach Chemie am Forschungszentrum Jülich.