

# LIEBER LANGSAM ALS GENETISCH

*Das Gehirn ist so komplex, dass seine Struktur nicht vollständig genetisch festgelegt sein kann, meinen Neuroinformatiker der RUB. Sie möchten die Mechanismen ergründen, mit denen sich die vielen Nervenzellen selbst organisieren. Langsamkeit könnte ein entscheidender Faktor sein.*

Manche Leute meinen, im Gehirn sind lauter kleine Tricks am Werk, die so kompliziert sind, dass wir sie nie verstehen werden“, sagt Laurenz Wiskott, Professor am Institut für Neuroinformatik (Abb. 1). „Ich gehöre aber zu den Leuten, die glauben, dass eine überschaubare Anzahl von Prinzipien am Werk ist, die wiederholt genutzt werden. Kommt man denen auf die Schliche, kann man verstehen, warum das Gehirn so leistungsfähig ist.“ Was sich im Detail auf der biologischen Ebene im Kopf abspielt, interessiert den Wissenschaftler dabei nicht so sehr. Mit seinem Team erforscht er auf einem sehr abstrakten Level, welche Prinzipien im Gehirn für Ordnung sorgen.

Schon 1998, während seiner Doktorarbeit, tüftelte Laurenz Wiskott das Langsamkeitsprinzip aus. „Später musste ich feststellen, dass andere es schon vor mir publiziert hatten“, erzählt er. „Aber so ist das halt manchmal in der Wissenschaft.“ Er entwickelte seine Theorie trotzdem kontinuierlich weiter, und heute ist sein Name fest mit der Idee der Langsamkeit als Organisationsprinzip verknüpft. Am besten lässt sie sich an einem Beispiel verdeutlichen: Der primäre visuelle Kortex, die Eingangsstation im Gehirn für Informationen des Sehens, ist sorgfältig strukturiert. Viele Zellen sind auf die Wahrnehmung bestimmter Aspekte spezialisiert. So gibt es zum Beispiel sogenannte komplexe Zellen, die am stärksten reagieren, wenn sie ein Streifenmuster mit einer bestimm-



ten Orientierung sehen, etwa horizontal gestreift (Abb. 2). Wie entstehen Zellen mit solchen Vorlieben? Hier kommt die Langsamkeit ins Spiel: Der Input, den die Zellen von den Augen bekommen, ändert sich permanent. Wir bewegen uns in der Welt, und auch unsere Umgebung wandelt sich ständig. Nehmen wir zum Beispiel an, wir beobachten eine Tänzerin in einem gestreiften Kleid. Die einzelnen „Bildpixel“, die unsere Retina wahrnimmt, verändern sich sehr schnell. Dennoch gibt es Merkmale in den wahrgenommenen Bildern, die wesentlich langsamer variieren – etwa das gestreifte Kleid.





Abb. 1: Prof. Dr. Laurenz Wiskott erforscht das Langsamkeitsprinzip seit seiner Doktorarbeit.

Wir sehen es zwar ständig an unterschiedlichen Stellen, aber es ist immer im Bild, solange wir die Tänzerin anschauen. Wiskott ist überzeugt, dass langsam variierende Eigenschaften die Vorlieben der Nervenzellen prägen. Mit zahlreichen Computersimulationen hat er gezeigt, dass das tatsächlich funktionieren könnte.

Dafür nutzt der Bochumer Neuroinformatiker immer noch den gleichen Algorithmus, den er sich während seiner Doktorarbeit ausdachte. Slow Feature Analysis heißt das Verfahren. Als Input erhält der Algorithmus Videosequenzen.

Dann sucht er nach Funktionen, die aus den Bildern Merkmale extrahieren, welche sich möglichst langsam verändern. Am Ende der Simulation spuckt die Analyse einen Satz unterschiedlicher Funktionen aus. Jede entspricht einer Zelle mit ganz bestimmten Eigenschaften. Auf diese Weise bringt die Slow Feature Analysis auch Nervenzellen hervor, die bevorzugt auf visuelle Reize mit bestimmten Orientierungen reagieren, etwa vertikale oder horizontale Streifenmuster. Die Ergebnisse stimmen dabei sehr gut mit physiologischen Studien überein (Abb. 3). ▶

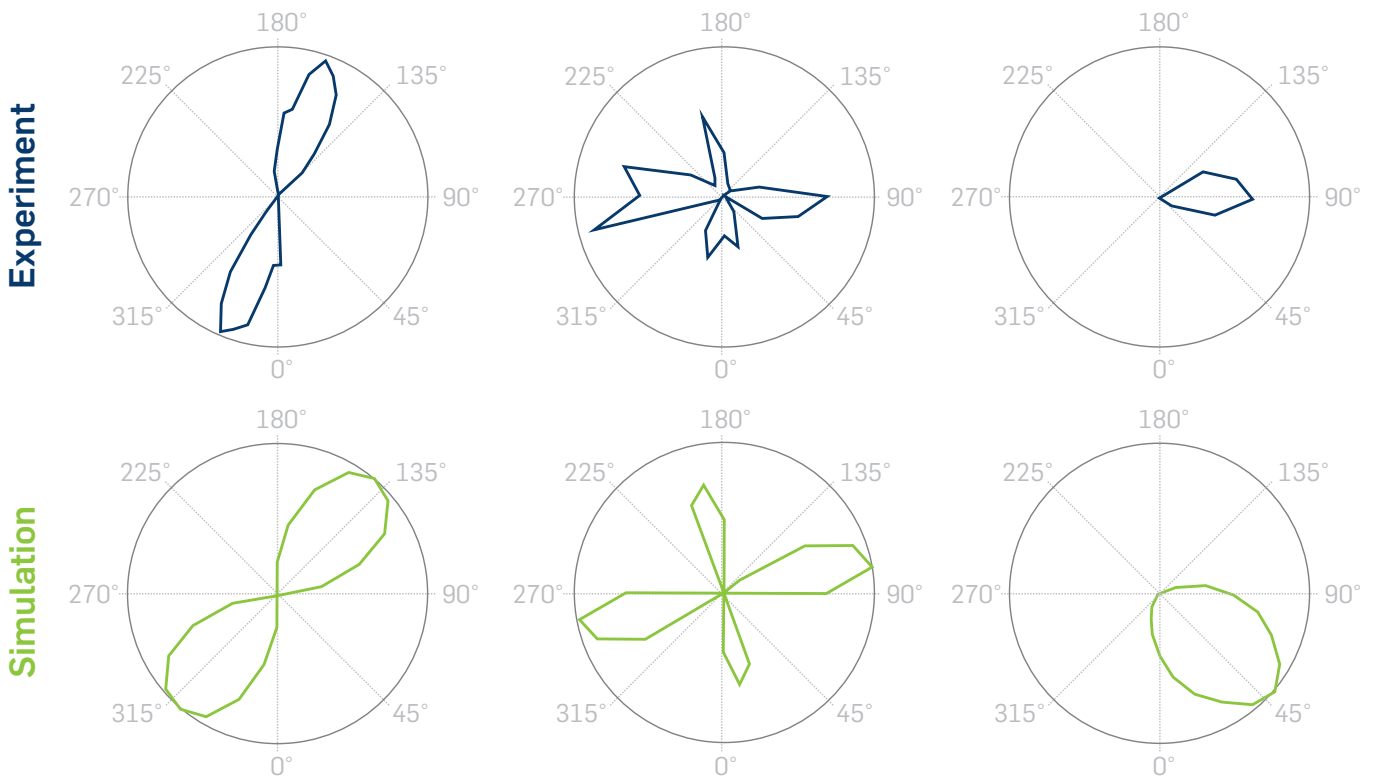


Abb. 3: In physiologischen Studien (oben) haben Forscher Zellen entdeckt, die bevorzugt auf Streifenmuster mit bestimmten Orientierungen reagieren. Die Entfernung der Messpunkte vom Mittelpunkt symbolisiert die Feuerrate beim Betrachten eines Musters mit einer bestimmten Orientierung, die jeweils am Rand notiert ist. Die Slow Feature Analysis (unten) bringt ganz ähnliche Zellen hervor. (Datenquelle obere Bildreihe: De Valois et al., 1982; Grafik: RUBIN/jwe)

Entscheidend ist, dass all die verschiedenen Typen von komplexen Zellen in einer einzigen Simulation entstehen. Die Forscherinnen und Forscher geben also nicht verschiedene Parameter in ihren Algorithmus ein, lassen ihn mehrmals laufen und erhalten so die Vielzahl an Zelltypen. Während eines einzelnen Durchlaufs organisiert sich das System anhand der eingefütterten Bilder selbst, und zwar ohne dass der Algorithmus viele Annahmen machen muss. „Unser System ist denkbar einfach“, sagt Laurenz Wiskott. „Das Langsamkeitsprinzip ist enorm leistungsfähig.“

Um Zellen mit einer Vorliebe für bestimmte Orientierungen entstehen zu lassen, braucht es noch nicht einmal natürliche Bilder. Das Langsamkeitsprinzip kann erklären, wie sich die Orientierungsselektivität anhand von spontaner Aktivität in der Netzhaut bildet. Zellen in der Retina sind schon vor dem Öffnen der Augen in systematischer Weise aktiv. Diese Aktivierungsmuster bezeichnet man als retinale Wellen. Sie werden intern erzeugt, nicht von Reizen in der Außenwelt ausgelöst. Retinale Wellen reichen der Slow Feature Analysis

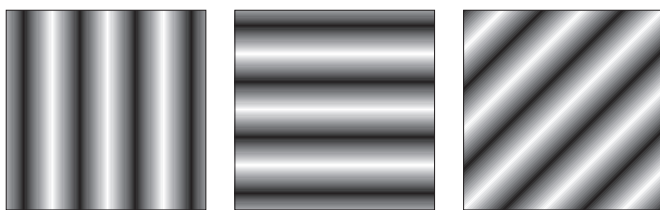


Abb. 2: Sogenannte komplexe Zellen in der Sehrinde feuern besonders stark, wenn sie Streifenmuster mit einer bestimmten Orientierung „sehen“. (Grafik: RUBIN/jwe)

als Input aus, um komplexe Zellen zu bilden. Und das passt zu experimentellen Ergebnissen: Physiologische Studien an Frettchen haben gezeigt, dass sie als Welpen schon vor dem Öffnen der Augen Zellen mit Orientierungsvorliebe besitzen. Die Slow Feature Analysis kann aber nicht nur die Bildung von komplexen Zellen erklären. Sie kann auch andere Phänomene virtuell nachahmen, die experimentell arbeitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschrieben haben. Das Langsamkeitsprinzip könnte zum Beispiel die Grundlage für das Entstehen von Ortszellen im Hippocampus sein, einer Hirnstruktur, die unter anderem für die räumliche Navigation zuständig ist. Ortszellen sind Nervenzellen, die nur feuern, wenn sich ein Individuum an einer bestimmten Stelle im Raum befindet. Sie lassen sich im Experiment bei Ratten nachweisen.

Nehmen wir an, eine Ratte läuft durch einen Raum, der auf einer Seite eine Backsteinwand hat, auf der gegenüberliegenden Seite eine Holzwand. Während sie sich bewegt, bilden sich Ortszellen, die verschiedene Positionen im Raum repräsentieren. Eine Zelle wäre zum Beispiel nur aktiv, wenn sich die Ratte mitten im Raum befindet – egal, ob sie in Richtung Backsteinwand oder Holzwand schaut. Wenn die Ratte den Kopf bewegt, nimmt sie sehr unterschiedliche Bilder wahr (Abb. 4). „Jedes Bild, das sie sieht, erlaubt aber einen Rückschluss darüber, wo sie gerade ist“, erklärt Laurenz Wiskott. „Die eigene Position steckt im Bild mit drin. Und sie ändert sich vergleichsweise langsam.“ Wesentlich langsamer zum Beispiel als der visuelle Input. Mit der Slow Feature Analysis lässt sich die Entstehung solcher Ortszellen nachempfinden, wenn man dem Algorithmus neben dem Langsamkeitsprinzip noch ein weiteres Organisationsprinzip zur Seite stellt (Info).



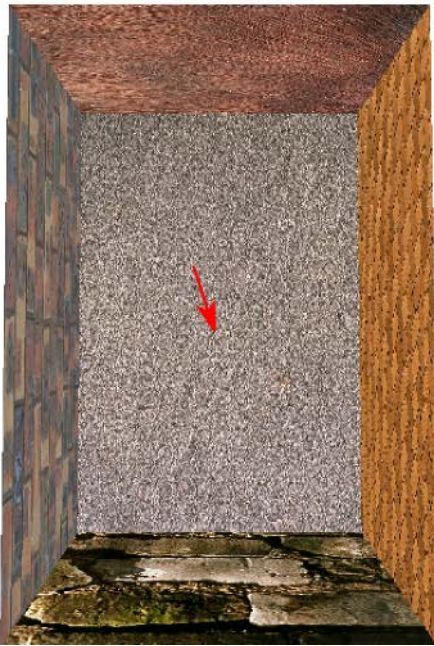


Abb. 4: Die Gruppe am Institut für Neuroinformatik simuliert, wie sich eine Ratte – symbolisiert durch den roten Pfeil – durch einen Raum bewegt. Anhand der Bilder, die die Ratte mit ihrem 320 Grad-Gesichtsfeld wahrnimmt (rechts), bilden sich in der Slow Feature Analysis Ortszellen aus. (Bilder: Franzius, Sprekeler, Wiskott (2007), PLoS Comp. Biol., DOI: 10.1371/journal.pcbi.0030166)

Mit dieser Kombination von Prinzipien reproduzierte Doktorand Fabian Schönfeld sechs physiologische Experimente mit Computersimulationen. Die virtuellen Zellen, die er mittels Slow Feature Analysis erhielt, verhielten sich sehr ähnlich zu den Zellen, die experimentell arbeitende Forschungsgruppen gemessen hatten. Er simulierte zunächst die Versuchsumgebung, einen Raum bestimmter Größe mit schwarzem Vorhang und verschiedenen Markierungen an den Wänden. Dann fügte er eine virtuelle Ratte hinzu, die sich durch diesen Raum bewegte. Mit Slow Feature Analysis bestimmte er, welche Zellen sich im Hippocampus in einem solchen Setting bilden würden. Er führte dann virtuell eine Reihe von Manipulationen am Setting durch, die auch im Experiment erfolgt waren; zum Beispiel entfernte er eine der Markierungen an der Wand und beobachtete, wie die virtuellen Zellen darauf reagierten. Das Fazit: „Wir haben erstaunliche Übereinstimmungen mit dem Experiment gefunden“, so Laurenz Wiskott. Sein Team erprobt derzeit auch ganz andere Bereiche, in denen sich das Langsamkeitsprinzip als nützlich erweisen könnte, zum Beispiel bei der Gesichtserkennung. Mit der Slow Feature Analysis kann das Bochumer Team das Alter von Personen schätzen. Um dem Algorithmus das beizubringen, fütterten die Forscherinnen und Forscher ihn mit tausend Bildern verschiedener Personen, sortiert nach Alter. Geschlecht und mimischer Ausdruck variierten zufällig; das Alter hingegen stieg langsam systematisch an. „Mir persönlich fällt es ziemlich schwer, Alter zu schätzen“, sagt Wiskott. „Mit Slow Feature Analysis gelingt uns das mit einer Genauigkeit von plus/minus 3,7 Jahren. Nicht schlecht.“

Das Langsamkeitsprinzip könnte für viele Anwendungen nützlich sein, vermutet der Neuroinformatiker. Allerdings in-

teressieren Anwendungen ihn persönlich nicht so sehr. Seine Leidenschaft ist es, grundlegende Prinzipien zu entdecken.

*Text: jwe, Foto: dg*

### DAS SPÄRLICHKEITSPRINZIP



*Das Spärlichkeitsprinzip besagt, dass Zellen in der Gehirnrinde typischerweise nur selten feuern. Wenn sie aktiv sind, feuern sie allerdings sehr stark. Dieser Mechanismus spart Energie und sorgt dafür, dass die Zellen relativ robuste und räumlich umgrenzte Repräsentationen bilden. In ihrem Algorithmus kombinieren die RUB-Neuroinformatiker das Langsamkeitsprinzip mit dem Spärlichkeitsprinzip.*

### ERRATUM

In Ausgabe 1/2015 haben sich an zwei Stellen Fehler eingeschlichen. Im Beitrag „Das Sterben von laufender Kamera“ heißt es, Robert Capa habe im Ersten Weltkrieg Soldaten im Anblick ihres Todes fotografiert. Die Bilder stammen jedoch aus dem Spanischen Bürgerkrieg; Capa wurde erst 1913 geboren. Wir bedanken uns bei Manfred Tietz für den Hinweis. Im Redaktionsschluss haben wir in einer Grafik die Staulänge in Deutschland ins Verhältnis zu anderen Größen gesetzt. Beim Mount Everest als Referenzobjekt sind dabei drei Nullen verloren gegangen. Richtig ist es wie folgt: 960.000 Kilometer Stau entsprechen etwa 108.000-mal der Höhe des Berges.