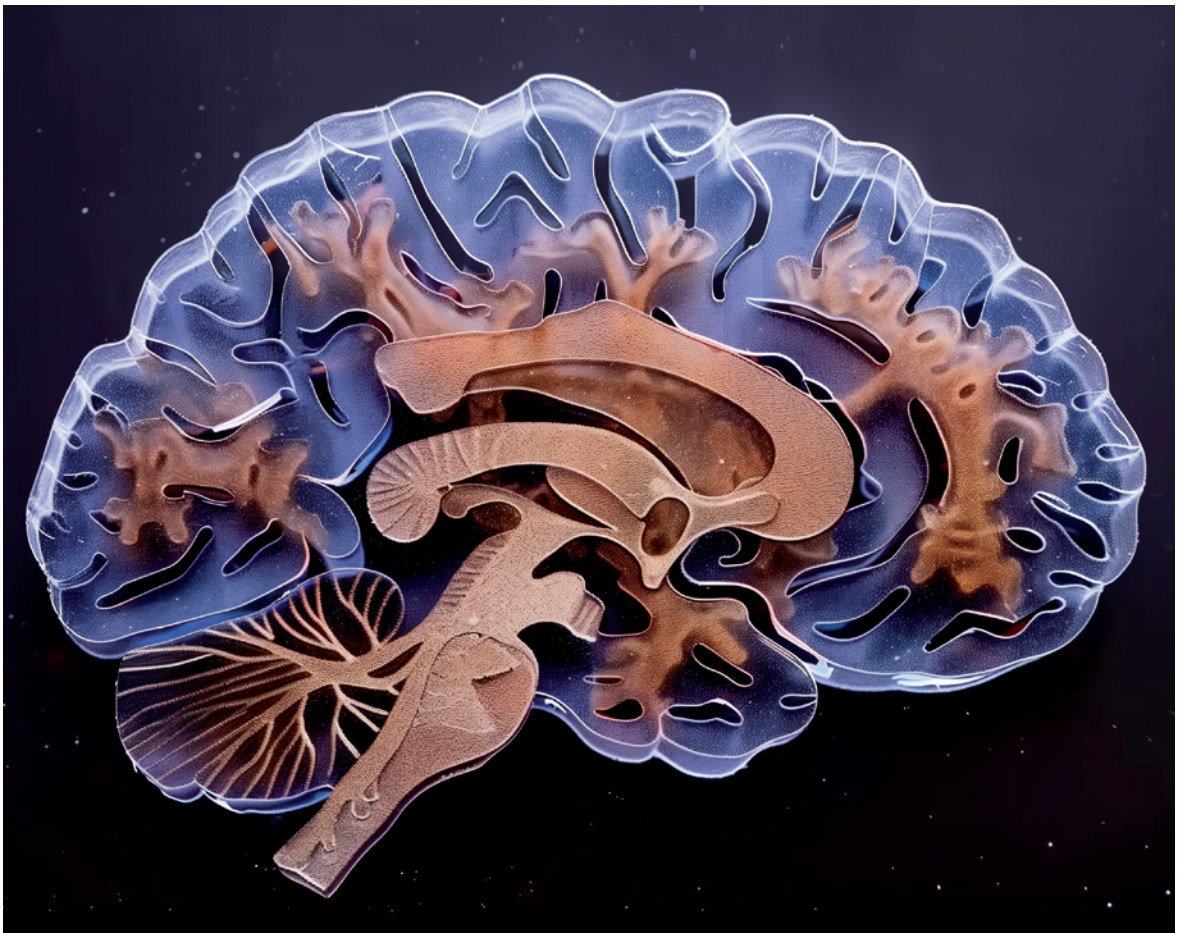


Vierteljahrschrift

4 | 2025
Jahrgang 170

der Naturforschenden Gesellschaft
in Zürich NGZH



4 Äusserst effizient und unglaublich komplex

Wie unser Gehirn funktioniert, ist nach wie vor ein ungelöstes Rätsel. Sicher ist: In puncto Effizienz ist es der KI immer noch meilenweit voraus.

Brief des Präsidenten

Wir haben dieses Jahr in einigen Artikeln erklärt, auf welchen Grundlagen die Künstliche Intelligenz KI entwickelt wurde, die derzeit einen regelrechten Boom erlebt, und haben Ihnen Beispiele für KI-Anwendungen gezeigt. Unser Redaktor Felix Würsten hat sich mit dem Hirnforscher Fritjof Helmchen von der Universität Zürich unterhalten und aus diesem Gespräch eine hochinteressante Gegenüberstellung von biologischer und künstlicher Intelligenz als Titelgeschichte geschrieben: «Lernen findet auf ganz verschiedenen Ebenen statt».

Am 5. September hat die Technische Gesellschaft Zürich (TGZ) im Auditorium Maximum der ETHZ ihren 200. Geburtstag gefeiert. In meinem Artikel über die Geschichte der TGZ und ihr Vermächtnis im Zürcher Bildungswesen wird klar, wie stark die TGZ und die NGZH miteinander verwandt sind und sich ergänzt haben. Die TGZ kann deshalb mit Recht als die jüngere Schwester der NGZH bezeichnet werden.

In der Rubrik Physik im Alltag beschreibe ich eine neue Anwendung der Quantentheorie, die auf dem rätselhaften Phänomen der «Verschränkung» basiert. Mit einem neuartigen Messverfahren konnte experimentell gezeigt werden, dass das menschliche Auge imstande ist, ein einzelnes Photon von grünem Licht zu detektieren und das Signal derart zum Gehirn weiterzuleiten, dass das Photon auch erkannt werden kann. Dies ist äusserst erstaunlich, weil das schwache Signal über einen verrauschten Kanal via Sehnerv bis zur Rückseite des Gehirns transportiert werden muss.

In den vergangenen 12 Jahren erschienen in der Vierteljahrsschrift rund 50 Artikel zu verschiedensten Themen, die Ihnen zeigen, wie stark die Resultate der physikalischen Forschung unser heutiges Alltagsleben beeinflussen. Vielleicht haben Sie Fragen zu Geräten



Im Universitäten Forschungsschwerpunkt «Plastische Hirnnetzwerke für Entwicklung und Lernen» untersuchen Forschende der Universität Zürich auf ganz unterschiedlichen Ebenen, wie sich das menschliche Gehirn entwickelt. Ziel ist es, Menschen mit Entwicklungs- und Lernstörungen besser unterstützen zu können. (Bild: UZH / UFSP AdaBD)

aus Ihrem Haushalt, die bisher nicht behandelt wurden. Gerne würde ich meinen nächsten Artikel einer Ihrer Anregungen widmen!

Unser Neujahrsblatt wurde diesmal von Conradin A. Burga (Vorstandsmitglied der NGZH) und Dietmar Grebner zusammen mit weiteren Autorinnen und Autoren geschrieben. Es behandelt Aspekte der Klimaänderungen mit starkem Bezug zu lokalen und regionalen Effekten in der Schweiz. Ich lade Sie herzlich ein, am 2. Januar 2026 Ihr Exemplar persönlich in der Zentralbibliothek abzuholen und für Freunde und Bekannte weitere verbilligte Exemplare zu kaufen.

Fritz Gassmann

ngzh

• • • • •

Naturforschende
Gesellschaft in Zürich
www.ngzh.ch

– AKTUELL

- 4 **«Lernen findet auf ganz verschiedenen Ebenen statt»**

– PHYSIK IM ALLTAG

- 10 Das menschliche Auge kann einzelne Photonen sehen

– GESELLSCHAFT

- 14 Die Technische Gesellschaft Zürich feiert ihren 200. Geburtstag

– NEUJAHRSBLETT 2026

- 17 Ein Thema von globaler Bedeutung

– VORTRAGSREIHE

- 18 Vorschau auf die Zoom-Vorträge im 4. Quartal 2025

- 22 IMPRESSUM

- 23 AGENDA

AUS DEM ARCHIV

Die NGZH verfügt über ein reichhaltiges Archiv an interessanten Publikationen, die im Laufe ihrer langen Geschichte veröffentlicht wurden. Das umfangreiche Material ist auf unserer Webseite frei zugänglich.

Alle Dokumente und auch die Aufzeichnungen der Online-Vorträge finden sich unter:
<https://ngzh.ch/events>

«Lernen findet auf ganz verschiedenen Ebenen statt»

Fritjof Helmchen untersucht als Hirnforscher, wie Informationen in den Gehirnen von Säugetieren verarbeitet werden und was sich in den Neuronennetzwerken ändert, wenn die Tiere neue Fähigkeiten erlernen. Die heutigen KI-Modelle könnten von der Biologie noch vieles lernen, ist er überzeugt.

Herr Helmchen, wie würden Sie als Hirnforscher Intelligenz definieren?

Fritjof Helmchen: Intelligenz bedeutet für mich, dass ein Agent – beispielsweise ein Tier, ein Mensch oder eben auch eine Maschine – mit der Aussenwelt interagiert und dass das Verhalten dieses Agenten sinnvoll ausgerichtet ist auf die Ziele, die erreicht werden sollen. Beim Tier besteht das Ziel beispielsweise darin, Futter zu finden und sich fortzupflanzen. Die Frage ist dann: Wie effektiv ist dieser Agent bei der Lösung der Aufgaben? Dabei spielt Flexibilität eine grosse Rolle. Wie gut reagiert der Agent, wenn Probleme auftauchen oder wenn er mit Neuem konfrontiert wird?

Das heisst also, ein intelligenter Organismus ist in der Lage, neue Lösungen zu finden?

Genau. Die Konfrontation mit Problemen oder Neuem erfordert neue Lösungen, die über das hinausgehen, was man vorher gemacht hat. Dazu braucht es ein gewisses Mass an Kreativität.

Wenn Sie nun von dieser Definition ausgehen: Sind die heutigen KI-Modelle intelligent, wie der Name suggeriert?

Die KI-Modelle haben in den letzten Jahren auf jeden Fall grosse Fortschritte gemacht und man kann ihr Verhalten inzwischen durchaus als intelligent bezeichnen. KI-Modelle sind viel effektiver geworden, nicht nur darin, relevante Informationen zu finden und zusammenzustellen, sondern auch darin, Entscheidungen zu treffen. Sie sind auch in der Interaktion mit den Usern viel besser geworden. Dennoch würde ich die künstliche Intelligenz im-

mer noch klar unterscheiden von der biologischen Intelligenz. In vielen Bereichen hinken die technischen Lösungen den intelligenten Systemen in der Biologie noch weit hinterher. Roboter zum Beispiel sind bei der Kontrolle von flexiblen Bewegungen noch weit weg von ihren natürlichen Vorbildern. Man darf nicht vergessen: In der Biologie findet sich Intelligenz an Orten, wo man es gar nicht erwartet. Insekten zum Beispiel zeigen ein hochintelligentes Verhalten. Man muss sich nur etwa Flugmanöver von Fliegen anschauen: was die Gehirne dieser Tiere dabei leisten, ist schon phänomenal.

Und im Vergleich zu Säugetieren haben Insekten ja viel weniger Neuronen zur Verfügung.

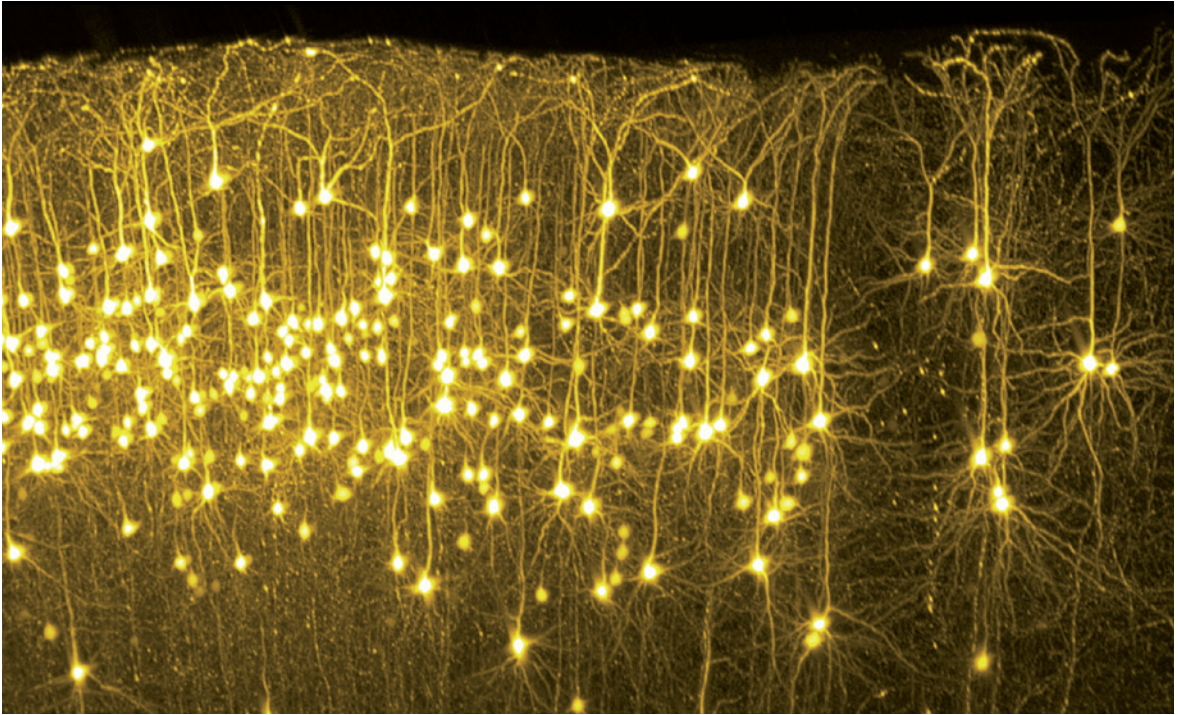
Richtig, das ist extrem effizient. Generell finde ich dies einen wichtigen Aspekt: Die technische Intelligenz hat einen sehr hohen Energieverbrauch. Ein intelligentes KI-System verbraucht vielleicht 200 000 mal mehr Energie als ein menschliches Gehirn. In der Natur sind die Energieressourcen begrenzt. Daher musste die Biologie clevere Lösungen in Form von hochkomplexen aber energieeffizienten Gehirnen finden. Bei KI-Modellen hingegen ist der Energieverbrauch kein limitierender Faktor, zumindest im Moment noch.

Ein anderer Punkt ist, dass KI-Modelle viele Input-Daten benötigen, also ganz anders lernen als beispielsweise Kinder, die aus Erfahrungen lernen. Worin genau unterscheiden sich die biologischen und künstlichen Lösungen?

Genau diese Frage untersuchen wir mit unserem Forschungsnetzwerk: Was genau geschieht eigentlich im Gehirn, wenn wir lernen? Wir verstehen das erst ansatzweise. Bei einigen Aspekten wissen wir inzwischen allerdings, dass biologisches und maschinelles Lernen unterschiedlich funktioniert.

Was heisst das konkret?

Maschinelles Lernen verwendet simplifizierte Netzwerke, welche aus einer grossen Zahl gleicher einfacher Bausteine bestehen. Zum Lernen brauchen



Blick auf ein komplexes und dynamisches Netzwerk von Nervenzellen mit ihren verzweigten Fortsätzen in der Hirnrinde einer Maus. Die gefärbten Neuronen wurden mit einem modernen Lichtscheiben-Mikroskop (mesospim.org) aufgenommen. Die hellen Zellkörper sind etwa ein Hunderstel Millimeter gross. (Bild: F. Voigt, W. Luo, C. Földy, F. Helmchen)

sie sehr viele Input-Daten. Biologische Gehirne sind völlig anders aufgebaut. Sie bestehen aus verschiedenen Zelltypen mit unterschiedlichen Funktionen und jede einzelne Zelle führt bereits komplizierte Berechnungen aus. Zudem findet das Lernen im Gehirn auf verschiedenen Ebenen statt, nicht nur auf einer. Das ist ein verschachtelter Prozess, der von der molekularen über die zelluläre Ebene bis hin zur Netzwerkebene reicht.

Stimmt es, dass beim Lernen nicht nur die Neuronen, sondern auch die Gliazellen, also die Stützzellen, beteiligt sind?

Das ist eine relativ neue Erkenntnis und vieles ist noch unklar. Gliazellen sind an sich schon lange bekannt. Sie galten aber lange nur als Stützzellen, welche die neuronalen Netzwerke füttern und unterstützen. In den letzten 20 Jahren haben immer mehr Studien gezeigt, dass diese Zellen jedoch viel mehr machen. Sie sind ebenfalls an den Rechenleistungen des Gehirns beteiligt und spielen auch beim Lernen und beim Gedächtnis eine Rolle.

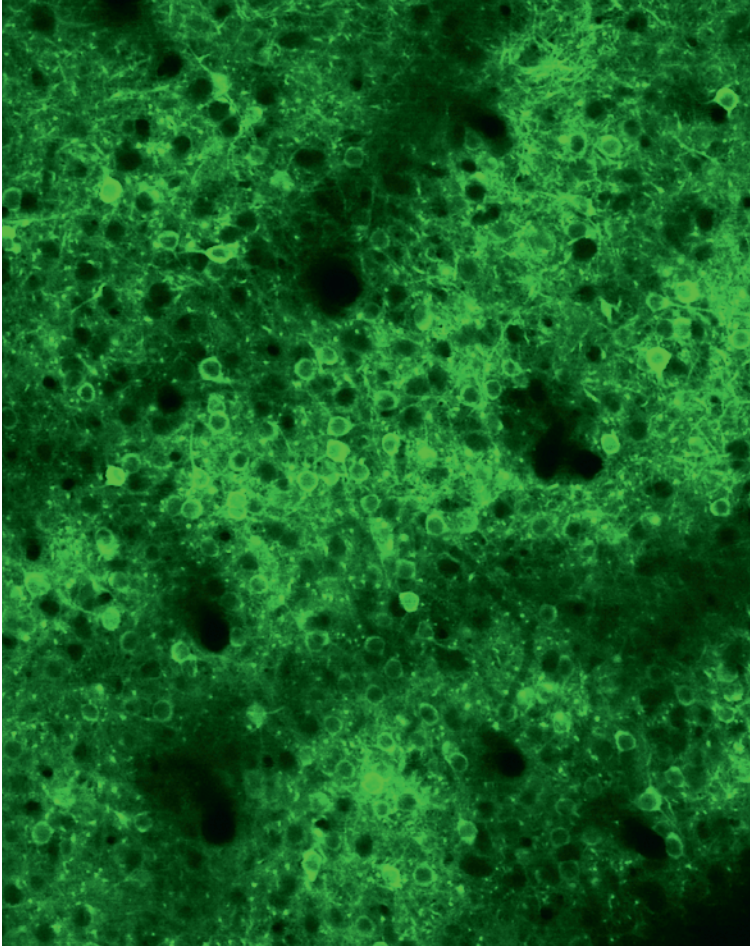
Wie beeinflussen eigentlich die Emotionen und die körperliche Erfahrung die

Vorgänge im Gehirn? Weiss man, wie das zusammenhängt?

Das ist ein interessantes Forschungsfeld, bei dem man ebenfalls vieles noch nicht versteht. Bei den Emotionen kommen auch die tieferliegenden Gehirnanteile ins Spiel, welche emotionales und soziales Verhalten massgeblich steuern. Das sind sehr komplexe Vorgänge, bei denen jedoch immer viele Hirnregionen involviert sind. Auch Verhaltensstörungen, Autismus oder Aufmerksamkeitsdefizite lassen sich nicht einfach an einem Ort im Gehirn festmachen. Deshalb ist es auch so schwer zu verstehen, was da genau abläuft.

Was sind im Moment die wichtigsten Entwicklungen in Ihrem Forschungsfeld?

Die Hirnforschung war immer beschränkt durch die Methodik. Früher war es zum Beispiel nicht möglich, Aktivitätsmuster in grossen Populationen von Nervenzellen zu messen, also in Verbänden von Tausenden bis Hunderttausenden von Zellen. Das hat sich in den letzten 20 Jahren geändert. Heute können wir mit Hilfe von bildgebenden Verfahren Aktivitätsmuster in ganzen Hirnarealen mit hoher Auflösung messen. Bei uns im Labor verfolgen wir



Blick ins Gehirn einer lebenden Maus. Das Nervenzellnetzwerk mit den ringförmigen Zellkörpern wurde mit einem fluoreszierenden Indikator angefärbt. Dieser erlaubt wiederholte Messungen der Aktivitätsmuster in diesem Netzwerk über viele Wochen, z.B. während Lernen. Die dunklen Schatten sind ungefärbte Blutgefäße. (Bild: A. v.d. Bourg, L. Egolf, F. Helmchen)

zum Beispiel bei Mäusen solche Aktivitätsmuster in Neuronennetzwerken. Wir können über Wochen hinweg dieselben Nervenzellen beobachten und so besser verstehen, wie sich das Gehirn einer Maus verändert, wenn sie eine neue Aufgabe erlernt.

Wie genau macht man diese Bilder?

Sehr viele dieser Untersuchungen basieren auf Fluoreszenzmessungen. Man färbt die Zellen in den untersuchten Hirnregionen mit fluoreszierenden Farbstoffen an. Diese leuchten dann verschieden stark, je nachdem, wie aktiv die entsprechenden Zellen sind. Nervenzellen sind ja elektrische Gebilde, meistens möchten wir die elektrische Aktivität in Form von Nervenimpulsen messen. Zum Teil geschieht das indirekt über biochemische Variablen, beispielsweise über die Kalzium-Konzentration in den Zellen.

Dadurch werden also ganze Netzwerke sichtbar?

Ja, damit können wir die Funktionsweise immer grösserer Netzwerke im Detail studieren. Wichtig ist, dass wir verschiedene Skalen verknüpfen können. Man muss zum einen berücksichtigen, wie die einzelne Zelle Signale verarbeitet und mit anderen Zellen kommuniziert, zum anderen aber auch, welche Informationen im Netzwerk als Ganzes verarbeitet werden. Daran sind verschiedene Zelltypen beteiligt, beispielsweise erregende Zellen, hemmende Zellen, Gliazellen und verschiedene Untertypen. Es wird immer deutlicher, dass die Rechenleistung im Gehirn auf eine sehr verteilte Art und Weise erbracht wird.

Das ist also ein verschachteltes Zusammenspiel?

Das ist ein sehr komplexes Geschehen. Beim Lernen beispielsweise finden auf unterschiedlichen Ebenen Anpassungen statt. Es kann sein, dass sich die Eigenschaften von einzelnen Zellen ändern, dass sie zum Beispiel erregbarer werden oder weniger

erregbar, was letztlich molekulare Änderungen bedingt. Es kann auch sein, dass sich die Verknüpfung der Zellen untereinander verändert, dass sich sogar neue Kontaktstellen, sogenannte Synapsen, bilden oder bestehende abgebaut werden. Auf grösserer Skala können sich die Signalflüsse innerhalb des Netzwerks sehr flexibel verändern. All diese Prozesse gibt es in dieser Art bei der künstlichen Intelligenz nicht.

Wie behalten Sie als Forscher den Überblick über diese komplexen Zusammenhänge?

Es gibt inzwischen einige Grossprojekte, mit denen man eine gewisse Systematik in die Hirnforschung bringen will. Man versucht beispielsweise, die unterschiedlichen Zelltypen komplett zu kartieren und zu katalogisieren. Weiterhin ist es ein grosses Ziel, die Verknüpfungsmuster der Neuronen im Detail aufzulösen, also den kompletten Schaltkreis eines Gehirns zu entschlüsseln. Vor wenigen Jahren ist dies bei der Fruchtfliege bereits gelungen und in absehbarer Zeit wird man dieses Ziel auch beim Zebrafischlarven-Modell erreichen. Aber selbst für das relativ kleine Mausgehirn sind wir noch Jahre von einer Auflösung des Gehirnschaltkreises entfernt. Das sind gigantische Datenmengen und eine Komplexität, die man sich kaum vorstellen kann.

Bis wir das menschliche Gehirn so darstellen können ist es also noch ein weiter Weg?

Vor allem weil menschliche Gehirne nochmals viel grösser und komplexer sind und weil wir sie nicht mit der gleichen Auflösung untersuchen können wie bei Versuchstieren. Beim Menschen können Hirnareale nicht mit Fluoreszenzstoffen wie bei Laborieren eingefärbt werden, und die zur Verfügung stehenden Bildgebungsmethoden haben eine geringere räumliche Auflösung, sie können keine einzelnen Zellen erkennen.

Ich stelle mir diese Untersuchungen bei Mäusen sehr anspruchsvoll vor. Müssen Sie die Tiere für diese Messungen eigentlich fixieren?

Nicht unbedingt. Wir verfügen inzwischen über miniaturisierte Mikroskope, die bloss noch ein, zwei Gramm schwer sind. Mit denen können wir Aktivitätsmuster auch messen, wenn sich die Mäuse frei



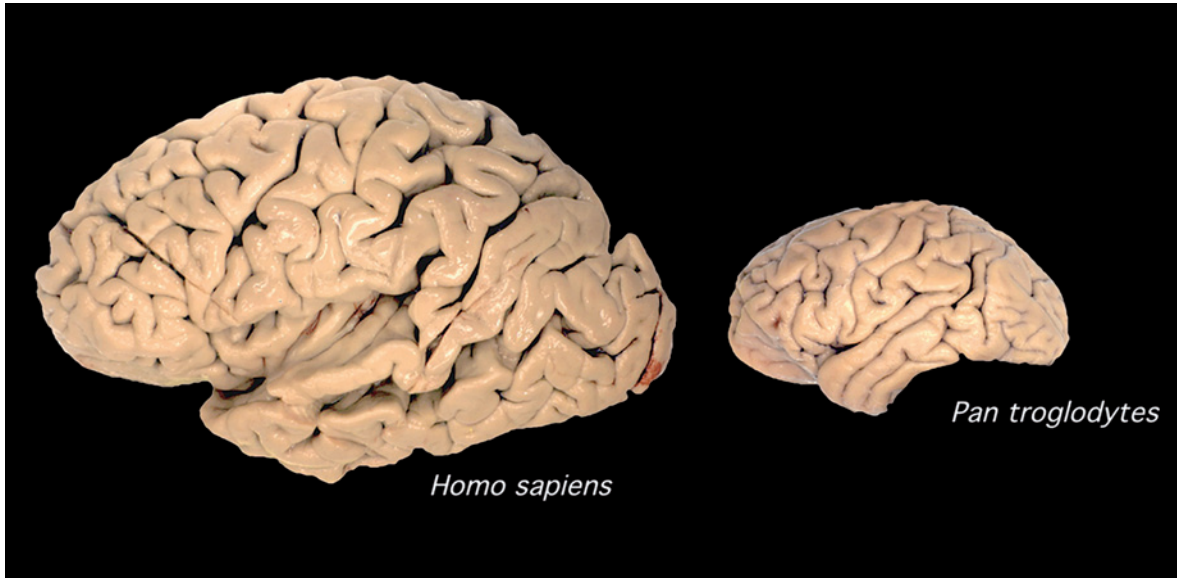
Zur Person

Fritjof Helmchen ist Professor für Neurowissenschaften und Co-Direktor des Brain Research Institute an der Universität Zürich. In seiner Forschung konzentriert er sich auf die Entwicklung und Anwendung optischer Methoden, mit denen er neuronale Aktivitäten auf subzellulärer, zellulärer und Schaltkreisebene untersucht. Ziel ist es, die Funktion neuronaler Schaltkreise und die Prinzipien der Informationsverarbeitung im Gehirn von Säugetieren besser zu verstehen und zu erkennen, wie sich Gehirnstrukturen verändern, wenn Tiere neue Fähigkeiten erlernen. Fritjof Helmchen ist seit 2018 Mitglied des SNF-Forschungsrats und derzeit Direktor des Zentrum für Neurowissenschaften Zürich (ZNZ). Zusammen mit Esther Stoeckli leitet er zudem den universitären Forschungsschwerpunkt «Adaptive Brain Circuits in Development and Learning».

bewegen. In jedem Fall braucht es natürlich zuerst eine Habituationsphase. Aber wenn sich die Tiere einmal an die Geräte gewöhnt haben, kann man sie über längere Zeit hinweg beobachten und die Lernprozesse im Gehirn im Detail verfolgen.

Sie sind auch Co-Direktor des universitären Forschungsschwerpunkts «Plastische Hirnnetzwerke für Entwicklung und Lernen». Worum geht es in diesem Schwerpunkt?

In diesem Forschungsschwerpunkt der Universität Zürich arbeiten ganz unterschiedliche Gruppen zusammen, von der Grundlagenforschung an Tiermodellen über die experimentelle Hirnforschung am Menschen bis hin zur klinischen Forschung. Dazu



Das menschliche Gehirn (l.) ist das komplexeste Organ, das die Biologie bisher hervorgebracht hat. Im Durchschnitt wiegt es 1,3 bis 1,5 Kilogramm. Im Vergleich dazu haben Schimpansen (r.) ein viel kleineres Hirn, das nur etwa 400 Gramm schwer ist. Und ein Mausgehirn wiegt sogar nur 0,4 Gramm. (Bild: T. Preuss, Yerkes Primate Research Center. Aus Bradbury J. 2005: Molecular Insights into Human Brain Evolution. PLoS Biology 3/3/2005)

kommen Gruppen, die sich mit Lernstörungen beschäftigen, beispielsweise mit Rechtschreibe- oder Leseschwäche, mit Rechenschwäche (Dyskalkulie) und mit Autismus. Die neurobiologischen Grundlagen dieser Störungsbilder versteht man erst ansatzweise. Wir Grundlagenforscher stoßen bei diesen Themen natürlich an gewisse Grenzen, wir können bei Mäusen ja Leseschwäche nicht direkt untersuchen. Aber wir hoffen doch, dass unsere Erkenntnisse den anderen Gruppen helfen, grundsätzliche Erkenntnisse über Lernstörungen zu gewinnen, damit man daraus Interventionen entwickeln kann, die den betroffenen Kindern in ihrem Alltag helfen.

Wie erleben Sie die Zusammenarbeit in diesem Schwerpunktprogramm? Da kommen ja ganz unterschiedliche Disziplinen zusammen.

Das ist ein sehr fruchtbarer Austausch. Die verschiedenen Gruppen haben ganz verschiedene Perspektiven und untersuchen die Vorgänge im Gehirn auf unterschiedlichen Skalen. Ich finde es sehr spannend, dass wir ein solches interdisziplinäres Programm an der Universität Zürich durchführen können. Denn wie gesagt: Es reicht nicht, nur eine Ebene anzuschauen, wenn man das menschliche Gehirn verstehen will.

Ein weiterer Schwerpunkt Ihrer Arbeit liegt in der Geräteentwicklung. Welche Entwicklungen gibt es da?

Wir arbeiten vor allem im Bereich der Mikroskopie-Entwicklung. Wir entwickeln lichtmikroskopische Methoden, mit denen wir sowohl die anatomischen Details als auch die Aktivitätsmuster in den Neuronennetzwerken genauer studieren können. Für die Anatomie kann man dabei einen Trick anwenden: Man verbessert nicht die Genauigkeit des Mikroskops, sondern vergrößert die Probe. Dadurch wird die Auflösung effektiv besser.

Und wie genau erreicht man das?

Das nennt sich Expansions-Mikroskopie. Man bringt Hydrogele in das Gewebe ein, diese nehmen dann Wasser auf und expandieren dabei. Beim Aufquellen werden die räumlichen Verhältnisse der Gewebestrukturen zum Glück nicht zerstört. Das ist ein sehr vielversprechender moderner Ansatz, weil man damit unterschiedlichste Gewebe mit hoher Auflösung untersuchen kann.

Nutzen Sie in Ihrer Forschung auch KI-Modelle?

Die KI war immer darauf ausgerichtet, Muster zu erkennen, und Mustererkennung brauchen wir bei der Datenanalyse tagtäglich. KI-Modelle helfen uns

zum Beispiel, in Fluoreszenz-Aufnahmen von Neuronenpopulationen die darunterliegenden elektrischen Aktivitätsmuster zu erkennen.

Gibt es auch den umgekehrten Weg, nämlich dass Ihre Forschung die KI-Entwickler beeinflusst?

Das hoffen wir! Ich sehe da ein grosses Potenzial. Die heutige KI basiert auf einem brute force Ansatz. Man baut grosse Netzwerke aus einfachen Einheiten und lässt diese dann mit einem unglaublichen Energieaufwand arbeiten. Die KI könnte da noch viel von der Biologie lernen. Allerdings müssen wir Neurowissenschaftler dafür erst einmal besser verstehen, wie die biologischen Netzwerke wirklich rechnen und intelligentes Verhalten hervorbringen. Ein anderer Bereich, wo KI von der Biologie lernen könnte, ist die Frage, wie man aus Fehlern lernt. Das funktioniert bei KI ganz anders als in der Biologie.

Wo ist der Unterschied?

In der Biologie steht den einzelnen Zellen immer nur die lokale Information zur Verfügung. Daraus müssen sie ableiten, wie sie sich nach Fehlern anzupassen haben. Bei KI-Netzwerken hingegen wird die Fehlerinformation sozusagen global verteilt. Das kann in der Biologie so nicht funktionieren. Wenn wir besser verstehen, wie Fehler in biologischen Systemen verarbeitet werden, könnte man vielleicht auch neuartige KI-Netzwerke bauen.

In der Biologie funktioniert die Fehlerbehandlung also viel lokaler?

Wenn es einen Fehler gibt, dann kann man diese Information nicht einfach allen Nervenzellen zur Verfügung stellen, damit sie sich dann entsprechend anpassen. Das geht nicht, weil jede Zelle nur ihre Nachbarn «sieht», also eine sehr eingeschränkte Sicht hat. Trotzdem ist sie in der Lage, sich so zu anpassen, dass am Ende eine sinnvolle Entwicklung im Sinne von Lernen entsteht.

Wo ist die KI der biologischen Intelligenz heute überlegen?

KI-Modelle können riesige Datenmengen in unglaublicher Geschwindigkeit verarbeiten. Da kommt das menschliche Gehirn nicht mehr mit. Auch bei der Mustererkennung ist KI viel besser geworden. Das betrifft zum Beispiel die Diagnostik in der Medizin. Wenn KI zuverlässig bessere Resultate liefert

als der Mensch, dann sind wir gefordert, das auch zu nutzen.

Ist es vielleicht sogar ein Vorteil, dass biologische und künstliche Intelligenz unterschiedlich funktionieren?

Ich denke schon. Die KI kann den Menschen Aufgaben abnehmen, die das menschliche Gehirn überfordern. Gleichzeitig gibt es auch Aspekte des menschlichen Daseins, die wir nicht mit KI abbilden können und vielleicht auch nicht abbilden sollten. Ich denke da an zwischenmenschliche Beziehungen und soziales Verhalten, all diejenigen Aspekte, die für uns Menschen als Individuen und als Spezies wichtig sind.

Als Hirnforscher erleben Sie gerade eine sehr aufregende Zeit?

Wir haben in den letzten Jahrzehnten in der Hirnforschung einen steilen Anstieg erlebt. Ich denke, dieser Weg ist noch lange nicht zu Ende. Das menschliche Gehirn hat noch viele Geheimnisse, die es zu lüften gilt.

Wenn Sie Ihren Forschungsbereich mit der Zeit vergleichen, als Sie Ihre wissenschaftliche Karriere angefangen haben: Was sind die grössten Unterschiede?

Vieles, von dem wir vor 25 Jahren nur träumen konnten, ist heute möglich geworden. Die Methodik hat sich enorm weiterentwickelt. Das ist zum einen faszinierend. Auf der anderen Seite verstehe ich auch die Sorgen, wie sich insbesondere die KI weiterentwickeln wird. Da gibt es doch einige Fragen, die wir genauer anschauen und als Gesellschaft neu regeln müssen, gerade auch im Hinblick auf die kommenden Generationen. Wir müssen Wege finden, wie wir junge Menschen auch in einer veränderten Welt gut auf das Leben vorbereiten können.

Interview: Felix Würsten

Weiterführende Informationen

Webseite der Forschungsgruppe Helmchen: www.hifo.uzh.ch/en/research/helmchen.html

Webseite des Forschungsschwerpunkts «Plastische Hirnnetzwerke für Entwicklung und Lernen» der Universität Zürich: www.adabd.uzh.ch/de.html

Das menschliche Auge kann einzelne Photonen sehen

Albert Einstein hat im Jahr 1905 die erfolgreiche Hypothese aufgestellt, dass Licht quantisiert ist. Diese Quanten wurden später als Photonen bezeichnet. Experimente in den 1940er-Jahren ergaben, dass vermutlich eine Schwelle von fünf bis sieben Photonen überschritten werden muss, damit das menschliche Auge sie erkennen kann. Erst neuere Experimente konnten mit Hilfe von verschränkten Photonen Klarheit schaffen: Das menschliche Auge ist tatsächlich in der Lage, auch einzelne Photonen zu sehen.

Abgeschwächtes Laserlicht ist für Experimente ungeeignet

Das menschliche Auge reagiert am empfindlichsten auf grünes Licht. Deshalb werden Experimente, mit denen man die Empfindlichkeit des Auges untersuchen will, mit grünem Laserlicht (Wellenlänge 561 nm) durchgeführt. Dessen Photonen enthalten die unvorstellbar kleine Energie von rund 4×10^{-19} Joule. Die Photonenenergie berechnet sich dabei aus dem Produkt $h \times f$, wobei h für das Plancksche Wirkungsquantum steht und f für die Lichtfrequenz.

Es wäre naheliegend, das Laserlicht für diese Experimente so stark abzuschwächen, bis nur noch eine Art Regen von einzelnen voneinander getrennten Photonen im Laserstrahl vorhanden ist. Dieses Vorgehen ist mit geeigneten Filtern absolut möglich und der entstehende Photonenregen kann mit Einzelphotonendetektoren aufgefangen und verstärkt werden, so dass der «Regen» via Lautsprecher hörbar gemacht werden kann. Es hört sich an wie auf eine Platte fallende Regentropfen oder der mit einem Geiger-Zähler registrierte Zerfall von radioaktiven Elementen.

Für die Experimente zur Bestimmung der ultimativen Empfindlichkeit des Auges möchte man aus diesem «Regen» am liebsten genau einen Tropfen, also ein einzelnes Photon, auf Knopfdruck erhalten. Zu diesem Zweck könnte man einen spe-

ziellen Laser verwenden, der auf Knopfdruck einen Lichtblitz von rund 10 Nanosekunden Länge abgibt (sog. *passively Q-switched laser*). Naheliegender wäre es dann, mit Filtern die Lichtblitze so abzuschwächen, dass im Mittel ein Photon übrig bleibt.

Wie bekommt man zuverlässig einzelne Photonen?

Weil die Photonen in einem statistischen Prozess erzeugt werden, ist es jedoch unmöglich, in einem noch so kleinen Zeitintervall genau ein Photon zu erhalten. Im Falle von Regentropfen oder beim radioaktiven Zerfall wäre dies genau gleich. In allen diesen Fällen haben wir es mit einer Poissonverteilung zu tun, die verwandt ist mit der bekannten Normalverteilung (auch Gaussverteilung oder Glockenkurve genannt).

Während die Normalverteilung für Ereignisse gilt, die mit einer nicht allzu kleinen Wahrscheinlichkeit p eintreten (z.B. $p=0,5$ um beim Werfen einer Münze Kopf zu erhalten), gilt die Poissonverteilung immer dann, wenn die Eintretenswahrscheinlichkeit p sehr klein ist (z.B. $p=0,0001$).

Die Gegenwahrscheinlichkeit $1-p$ kann in diesem Fall als 1 angenommen werden und die Formeln werden dadurch vereinfacht. So ist bei der Poissonverteilung die Varianz σ^2 gleich dem Mittelwert. Ist der Mittelwert z.B. 10 000, ist die Varianz auch 10 000 und die Standardabweichung σ ist die Wurzel daraus, also $\sigma=100$. Relativ zum Mittelwert sind solche Fluktuationen für dieses Beispiel nur 1 Prozent und normalerweise zu vernachlässigen.

In unserem Fall der Augenmessungen wollen wir jedoch einen Mittelwert von 1 haben (wir möchten im Mittel 1 Photon in jedem Intervall). Die Varianz und die Standardabweichung werden für diesen Fall auch 1 (die Wurzel aus 1 ist 1) und die Fluktuationen relativ zum Mittelwert erreichen 100 Prozent. Dies bedeutet, dass viele Intervalle leer sind und andere enthalten mehrere Photonen (bis etwa 5). Die entsprechende Poisson-Verteilung ist in **Abb. 1** grafisch dargestellt. So kann man also keine einzelnen Photonen erhalten.

Es ist auch nicht möglich, die Photonen irgendwie zu zählen, bevor sie ins Auge gelangen. Jede vorgeschaltete Zählapparatur würde die Photonen absorbieren und sie würden nicht mehr als Signal für das Auge zur Verfügung stehen. Lange Zeit schien diese Situation ausweglos.

Durchbruch dank verschränkter Einzelphotonenquelle

Erst die revolutionäre experimentelle Bestätigung der Verschränkung von Photonen ermöglichte eine Lösung dieses Problems. In einem speziellen Kristall werden zwei verschränkte Zwillingphotonen erzeugt (vgl. Gassmann 2023a,b), die sich im gleichen Quantenzustand befinden und voneinander getrennte Wege gehen.

Das eine Photon (*Idler* genannt) wird zu einem Detektor geleitet und sein Zwillingphoton (*Signal* genannt) wird via einen Lichtleiter dem Auge zugeführt. Sobald im Detektor ein Idler registriert wird, ist also ein identisches Signal im Auge angekommen. So kann man nun die Idler-Photonen zählen, ohne die Signal-Photonen zu beeinflussen.

Man kann mit diesem Verfahren auch das Mittel der Anzahl Photonen pro Laserpuls deutlich kleiner einstellen als 1. In den Experimenten von Tinsley et al. 2016 wurde der Mittelwert auf etwa 0,05 eingestellt. Gemäss der Poisson-Verteilung sind so allerdings 95 Prozent der Intervalle leer und ein Photon erscheint nur in rund 5 Prozent der per Knopfdruck angeforderten Fälle.

Da man nachträglich die leeren Messungen eliminieren kann, spielt dies jedoch keine Rolle. Der einzige Nachteil ist, dass die Versuchspersonen 20 mal mehr Beobachtungen machen müssen, um für die statistische Auswertung genügend viele Einzelphotonen zu beobachten. Um die rund 0,1 Prozent verbleibenden Fälle mit 2 Photonen ebenfalls auszuschliessen, wurde als Idler-Detektor eine elektronische Kamera mit sehr hoher Quanteneffizienz verwendet. Damit können Fälle mit 2 oder mehr Photonen nachträglich ebenfalls eliminiert werden.

Von der Theorie zur Praxis

Würde alles wie in der idealen Theorie ablaufen, wäre damit unser Messziel erreicht. Doch wie so häufig weichen die konkreten Experimente von der idealen Theorie ab.

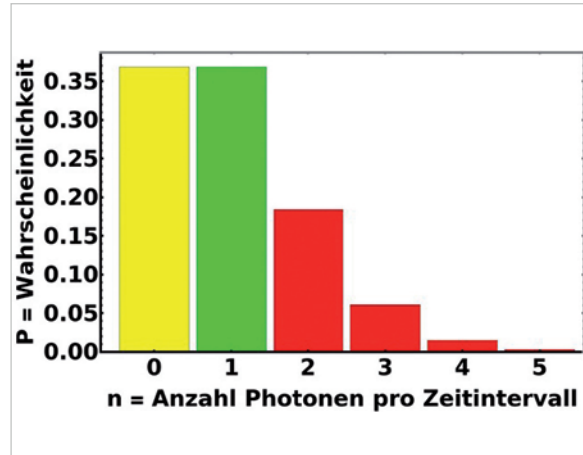


Abb. 1: Poissonverteilung $P(n)=1/(e \cdot n!)$ für Mittelwert 1. Varianz und Standardabweichung sind ebenfalls 1. Alle Photonen mit mehr als 5 Quanten machen zusammengenommen nur noch ein Promille der Fälle aus. Der Anteil der Intervalle, die kein Photon enthalten (gelb, $n=0$), ist gleich hoch (36,8 Prozent) wie derjenige der gewünschten Intervalle (grün) mit genau einem Photon ($n=1$). Die Intervalle mit mehr als einem Photon (rot, $n>1$) verfälschen die Messungen und müssen eliminiert werden. (Bild Fritz Gassmann)

Zum einen treten durch verschiedene Unvollkommenheiten des Idler-Detektors störende Fluktuationen auf. So kann der sehr empfindliche Einzelphotonen-Detektor ungewollt ansprechen auf interne thermische Fluktuationen und im Falle eines Leerintervalls ein Photon vortäuschen. Weiter beträgt die Effizienz des Lichtleiters zum Auge nur etwa 40 Prozent und in der Augenlinse sowie im Glaskörper können weitere Photonen absorbiert werden. Das bedeutet, dass insgesamt deutlich weniger Photonen die Netzhaut erreichen als angenommen.

Es wurde theoretisch geschätzt, dass nur etwa 6 Prozent der Signal-Photonen Reaktionen in den Stäbchenzellen der Retina auslösen können. Zusätzlich ist auch noch die Weiterleitung des sehr kleinen Reizes durch das mit Fluktuationen verschiedenster Art belastete Nervensystem zu berücksichtigen, wo kleine Signale verloren gehen können.

Aus all diesen Gründen ist deshalb nicht mit einer Erkennungswahrscheinlichkeit von Einzelphotonen von gegen 100 Prozent zu rechnen. Der Nachweis, dass das Auge Einzelphotonen realisieren kann, ist jedoch erbracht, wenn die Beobachtungen deutlich über der Zufallsgrenze von 50 Prozent liegen.

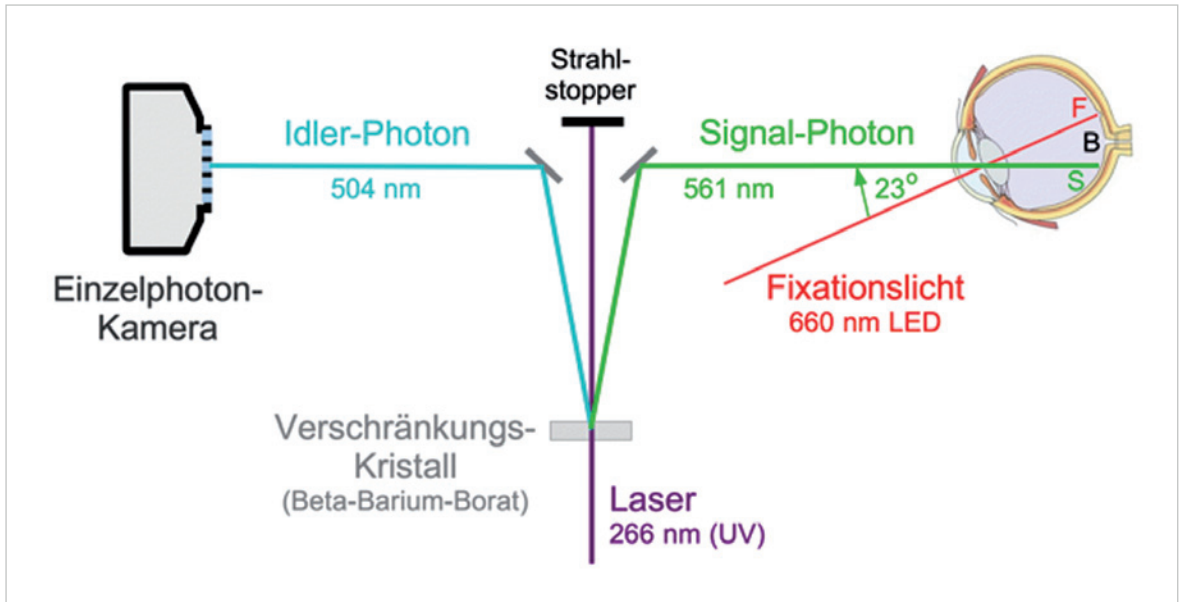


Abb. 2: Experiment zur Messung der ultimativen Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Die Wellenlängen von Idler- und Signal-Photon wurden optimal auf die Empfindlichkeiten der Einzelphotonkamera und des Auges eingestellt. Damit das Signal-Photon immer auf eine Stelle der Netzhaut mit grosser Dichte von Stäbchenzellen S (empfindlich für Nachtsicht, nur schwarz/weiss) trifft, musste die Versuchsperson ein schwaches Fixationslicht fokussieren, das so in die Fovea F (Sehgrube, Zentrum für scharfes Sehen) fällt, wo sich fast keine Stäbchenzellen befinden, sondern farbempfindliche Zapfenzellen, die weniger lichtempfindlich sind als Stäbchenzellen. B ist der blinde Fleck. (Bild F. Gassmann: vereinfachte Prinzipskizze nach Tinsley et al. 2016, Fig. 1a)

Testpersonen müssen gut trainiert sein

An den Messungen haben drei gut trainierte, junge Männer teilgenommen, deren Augen an die Dunkelheit adaptiert waren. Die Versuchspersonen sassen in einer kleinen lichtdichten Box, die in einer Dunkelkammer platziert war. Sie konnten per Knopfdruck ein Photon verlangen. Es wurden immer zwei Intervalle im Abstand von 0,8 Sekunden gesendet und durch ein akustisches Signal gekennzeichnet.

Durch eine Zufallsauswahl des Steuercomputers war das eine Intervall leer und das andere enthielt das Resultat des Laserpulses, also meistens kein Photon, manchmal ein Photon oder sehr selten mehr als ein Photon. Die Versuchsperson musste mit zwei Knöpfen entscheiden, ob sie das Photon im ersten oder im zweiten Intervall gesehen hat. Mit drei weiteren Knöpfen musste sie danach in drei Stufen angeben, wie sicher sie das Licht empfunden hat. Damit das zu sehende Photon immer auf die empfindlichste Stelle der Retina trifft, wurde der Kopf der Versuchsperson mit Hilfe eines Beissblocks stabilisiert und das zu testende Auge musste auf eine sehr schwache rote Lichtquelle gerichtet werden.

Das Photon wurde in einem Winkel von 23° zu dieser Lichtquelle eingestrahlt. Abb. 2 zeigt das Prinzipschema des experimentellen Aufbaus. Für weitere Details sei auf die Beschreibung der Experimente durch Tinsley et al. 2016 verwiesen.

Ergebnisse der Experimente

Insgesamt wurden Beobachtungen von 2420 Einzelphotonen ausgewertet. Wären die Photonen überhaupt nicht gesehen worden, müsste der Anteil der Treffer (d.h. die Versuchsperson hat dasjenige Intervall ausgewählt, in dem sich tatsächlich das Photon befand) sehr genau bei 50 Prozent liegen, was einer zufälligen Wahl des Intervalls entsprechen würde. Der Erfolg des Experimentes zeigt sich also dadurch, wie weit der Anteil der Treffer über 50 Prozent liegt.

Betrachtet man nur die 242 Beobachtungen, die mit der höchsten Sicherheitsstufe 3 bewertet wurden, konnten 60 ± 3 Prozent Treffer gefunden werden, was deutlich über einem Zufallsergebnis liegt. Das menschliche Auge kann also tatsächlich ein einzelnes Photon sehen.

Ein weiteres unerwartetes Ergebnis betraf die Steuerung der Empfindlichkeit des Auges. Da

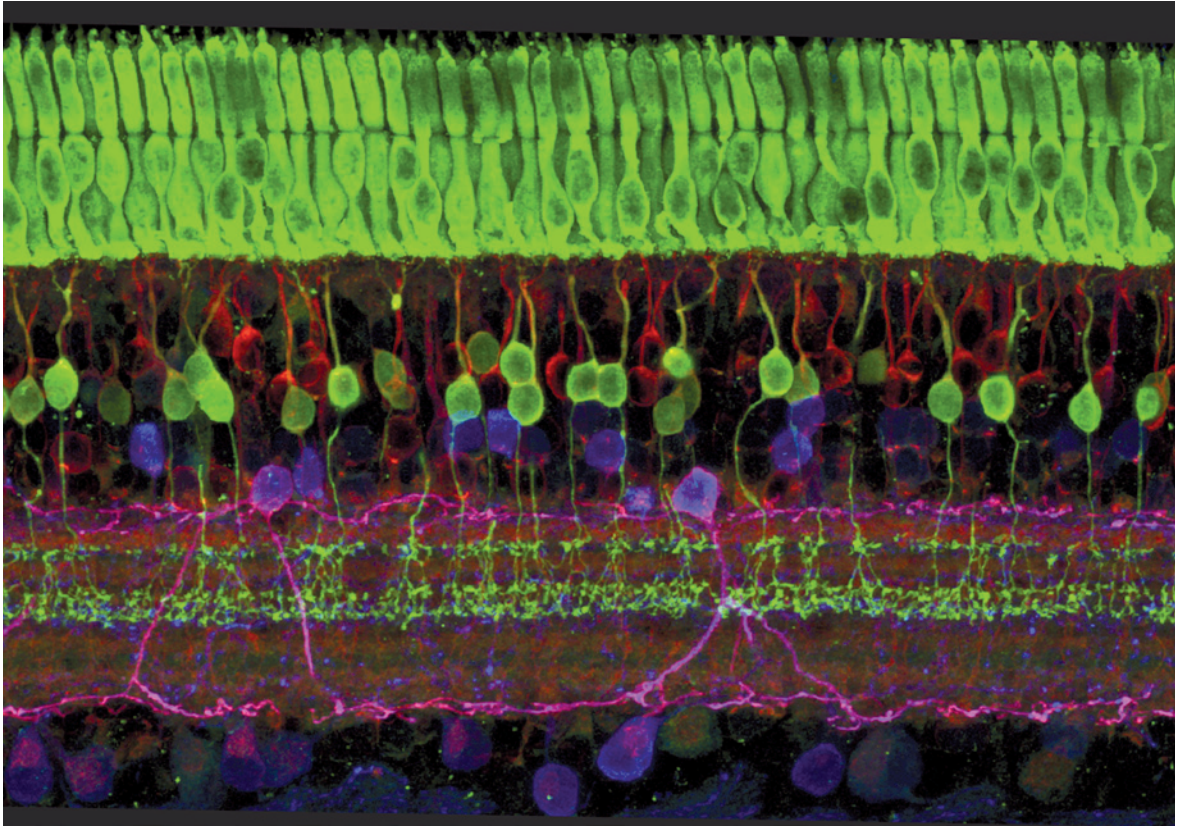


Abb. 3: Diese mikroskopische Aufnahme zeigt die vielen Schichten von Nervenzellen in der Netzhaut, die sich im Laufe der Evolution bis ans Limit des physikalisch Möglichen entwickelt hat. Die oberste Schicht (grün) besteht aus Zellen, die als Photorezeptoren bezeichnet werden und Licht in elektrische Signale umwandeln, die an das Gehirn weitergeleitet werden. Die beiden bekanntesten Arten von Photorezeptorzellen sind Stäbchen- und Zapfenzellen. Stäbchen helfen uns, bei schlechten Lichtverhältnissen zu sehen, können jedoch keine Farben unterscheiden. Zapfen wiederum funktionieren im Dunkeln nicht gut, ermöglichen es uns jedoch, bei Tageslicht lebendige Farben zu sehen. (Bild: Wei Li, National Eye Institute, National Institutes of Health)

das Auge Lichtintensitäten über einen Bereich von eins bis eine Milliarde verarbeiten kann, muss die Empfindlichkeit durch ein Regelsystem dauernd der mittleren Umgebungintensität angepasst werden. Erstaunlicherweise wurde ein solcher bisher noch unbekannter Adaptionseffekt selbst bei den hier untersuchten extrem niedrigen Intensitäten gefunden: Wenige Sekunden nach der Beobachtung eines einzelnen Energiequants scheint die Retina konditioniert zu sein, ein weiteres einzelnes Quant mit höherer Wahrscheinlichkeit feststellen zu können.

Fazit

Es erstaunt, dass die evolutiven Prozesse die Empfindlichkeit der Sehzellen bis hin zu den physikalischen Grenzen optimiert haben (Abb. 3). Dazu kommt noch eine weitere Erkenntnis: Es ist schwer verständlich, dass das äusserst geringe Signal ei-

ner einzelnen Stäbchenzelle der Retina durch das Nervensystem weitergeleitet werden kann, ohne verloren zu gehen.

Das im neurologischen System durch Zufallsprozesse ausgelöste Rauschen müsste eigentlich derart schwache Signale so stark verwischen, dass sie aus dem Rauschpegel nicht mehr herauszufiltern sind. Es muss also bisher unbekannte Prozesse geben, die sehr schwache Signale durch stark verrauschte Kanäle übertragen können!

Fritz Gassmann

Literatur

Gassmann F. 2023a. Verschränkte Photonen – Phänomen ausserhalb Raum und Zeit. VJS 2|2023: 6-10.

Gassmann F. 2023b. Die Bellsche Ungleichung einfach erklärt. VJS 2|2023: 11-13. (Abb. 2)

Tinsley J. N. et al. 2016. Direct detection of a single photon by humans. Nat. Commun. 7:12172 doi: 10.1038/ncomms12172.

Die Technische Gesellschaft Zürich feiert ihren 200. Geburtstag

Am 5. September 2025 hat die Technische Gesellschaft Zürich (TGZ) im Auditorium Maximum der ETH Zürich ihr Jubiläum gefeiert und hat dazu auch die NGZH-Mitglieder eingeladen. Zu diesem Anlass wurde eine Sonderpublikation «Wissensdurst» herausgegeben, die der Geschichte der TGZ wie auch der technischen und industriellen Entwicklung der Schweiz gewidmet ist. Der folgende Artikel ist eine Kurzfassung der Geschichte der TGZ und zeigt ihr Vermächtnis im Zürcher Bildungswesen.

Im Gründungsjahr 1825 der TGZ gab es im Kanton Zürich keine Ausbildungsmöglichkeit im technischen Bereich, die über die Vermittlung rein handwerklicher Fähigkeiten hinausging. Der Nachbarkanton Aargau war mit seiner 1802 gegründeten Kantonsschule fortschrittlicher, und auch in den Nachbarländern wurde die Entwicklung von Technik und Industrie wesentlich intensiver unterstützt. Zürich musste deshalb befürchten, durch andere Schweizer Kantone und vor allem durch das

Ausland von der technischen Entwicklung abgehängt zu werden.

Gründung der TGZ 1825 und erste Schule
Das gut vernetzte NGZH-Mitglied Johann Jakob Ulrich Irminger (1785-1838) war Kantonsapotheker. Er kannte die Aargauer Kantonsschule und unterrichtete neben seiner Tätigkeit auch Pharmazie und Chemie am Medizinischen Institut. Die Ausbildung junger Männer im technischen oder naturwissenschaftlichen Bereich lag ihm sehr am Herzen und so gründete er zusammen mit neun Gleichgesinnten am 4. März 1825 die Technische Gesellschaft Zürich TGZ (Abb.1). Ein bedeutendes Mitglied war Hans Caspar Escher, der Gründer und Mitinhaber der Escher, Wyss & Cie.

Bereits nach 10 Monaten wurde das Technische Institut eröffnet, das jungen Männern ab 16 Jahren offen stand für einen zweijährigen Bildungsgang, der etwa den heutigen Fachhochschulen zuzuordnen wäre. Sehr fortschrittlich war das Konzept der freien Fächerwahl ohne obligatorische Fächer! Schon nach einem Jahr besuchten rund 100 Schüler die rein privat finanzierte Schule.



Der Kanton Zürich ergreift die Initiative
1831 trat die neue Kantonsverfassung in Kraft und der Kanton übernahm die Schulbildung. In einem grossen Wurf erliess das Kantonsparlament 1832 ein Gesetz zur Gründung der Universität und der Kantonsschule, die kurz darauf ihren Betrieb aufnahmen.

Die Kantonsschule (Abb. 2) bestand aus einem geisteswissenschaftlich-humanistischen Gymnasium und einer technisch orientierten Industrieschule. Das Technische Institut wurde in die Industrieschule eingegliedert. Die moderne freie Fächerwahl wurde vorerst

Abb. 1: Johann Jakob Ulrich Irminger (1785-1838) Kantonsapotheker und Gründer der TGZ (Bild: TGZ)

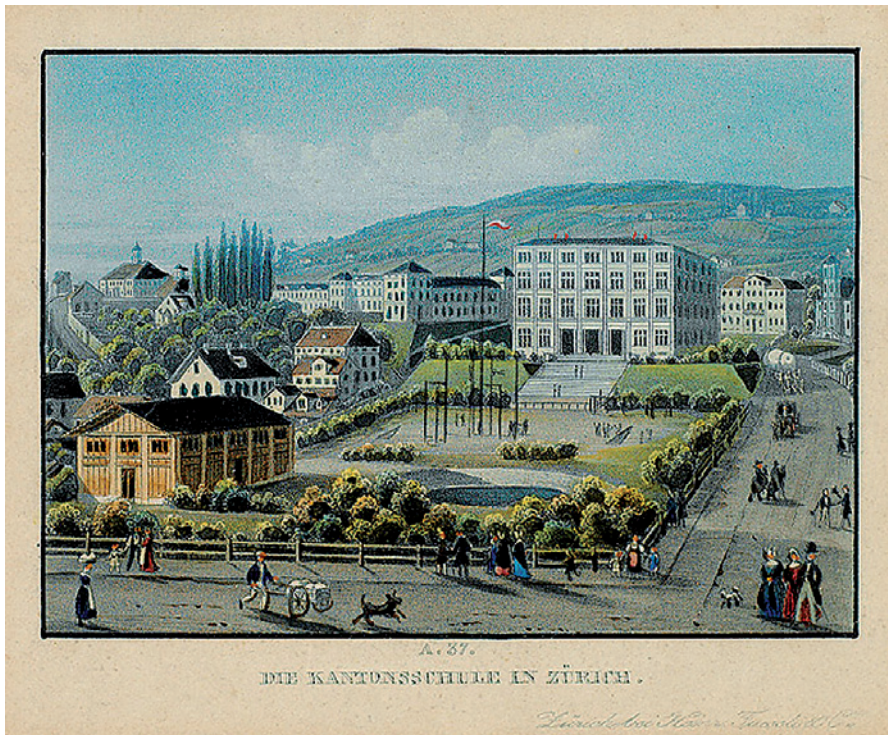


Abb. 2: Gebäude der Kantonsschule Zürich von Gustav Albert Wegmann im 19. Jahrhundert an der Rämistrasse 59. Die zugehörige Turnhalle unten links wurde bis in die 1960er-Jahre benutzt, musste später aber einer Erweiterung des Kunstmuseums Zürich weichen. Rechts: Rämistrasse, links der Turnhalle: Kantonsschulstrasse, unten: Heimplatz. (Bild: Autor unbekannt, Public domain, Wikimedia Commons)

in den oberen Schulstufen beibehalten, aber nach 1836 vollständig durch obligatorische Fächer ersetzt, da der hochschulartige Zuschnitt viele Schüler überforderte. Die Beziehungen zwischen der TGZ und der Industrieschule blieben indes eng, indem einzelne Lehrer Mitglied der TGZ waren und mehrfach TGZ-Mitglieder in der Aufsichtskommission der Schule vertreten waren.

Bildungsinitiative erreicht Bundesebene
 Liberale Politiker setzten sich dafür ein, dass die 1848 in Kraft tretende neue Bundesverfassung die Gründung einer eidgenössischen Universität vorsah. Dieses Vorhaben scheiterte jedoch am Widerstand der Kantone, die die Bildung in Ihrer Hoheit sehen wollten. Als Kompromiss einigte man sich schliesslich auf die Gründung eines Polytechnikums gemäss ausländischen Vorbildern. Der Politiker und spätere Eisenbahnpionier Alfred Escher

(1819-1882) wie auch diverse Mitglieder der NGZH gehörten zu den treibenden Kräften bei der 1855 erfolgten Gründung der Eidgenössischen Polytechnischen Schule, wie die ETH bis 1911 hiess.

Mit der Gründung des Polytechnikums erhielt die Industrieschule die Aufgabe, die Schüler auf den Hochschulbetrieb vorzubereiten. Nach der Einführung der eidg. Matura erhielt sie 1929 den neuen Namen Kantonale Oberrealschule und war immer noch ausschliesslich für Knaben offen. Dies änderte sich erst 1971 mit dem Umzug in die neu erstellten Schulgebäude im Rämibühl. Ich erinnere mich noch lebhaft an die Übergangszeit Mitte der 1960er Jahre, als nach und nach Mädchen in unser provisorisches Barackendorf im Rämibühl einzogen. Nach verschiedenen Reformen wurde die Oberrealschule 1974 zum Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Gymnasium MNG umbenannt.

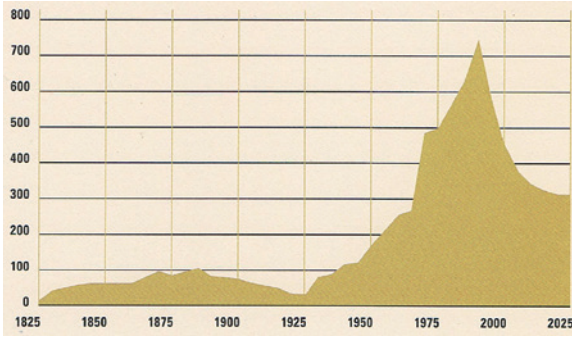


Abb. 3: Anzahl Mitglieder der TGZ 1825 bis 2025. In der Wirtschaftskrise sank die Mitgliederzahl 1923 auf bedrohliche 28 ab. Das 100-Jahr-Jubiläum 1925 wurde deshalb für eine intensive Werbekampagne genutzt, was den deutlichen Aufwärtssprung erklärt. (Bild entnommen aus Wissensdurst S. 25)

Höchststand an Mitgliedern 1987

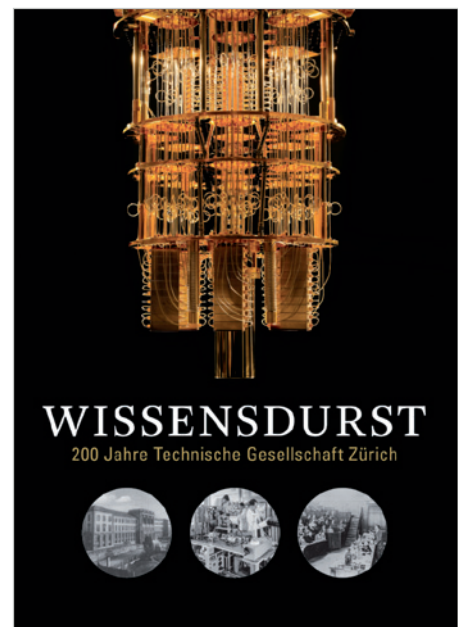
Im Laufe der Zeit hat die TGZ eine wechselvolle Geschichte erlebt. Nach einem kritischen Tief in den 1920er-Jahren verzeichnete die TGZ eine kontinuierliche Zunahme der Mitglieder. Der Höchststand wurde 1987 erreicht mit 745 Mitgliedern (vgl. Abb. 3), nur wenig später als derjenige der NGZH (1982, 1500 Mitglieder). Der starke Rückgang in den 1990er Jahren ist parallel zum Abfall der Mitgliederzahlen der NGZH und dürfte dieselbe Hauptursache haben, nämlich die verstärkte Öffentlichkeitsarbeit der Hochschulen katalysiert durch das Internet, wo fast jede Information gratis und im Überfluss zu haben ist. Im Falle der NGZH wurde der Rückgang noch beschleunigt durch die schrittweise Erhöhung des jährlichen Mitgliederbeitrages zwischen 1980 und 1996 von 35 auf 90 Franken, was bei der TGZ nicht der Fall war. Heute hat die TGZ 292 Mitglieder (ordentlicher Jahresbeitrag 50 Franken) und konnte sich so mit 39 Prozent des Höchststandes besser auffangen als die NGZH, die heute 445 Mitglieder hat, was nur noch 30 Prozent des Höchststandes entspricht.

Heutige Aktivitäten der TGZ

Mit der Gründung der Industrieschule hatte die TGZ ihr Ziel eigentlich erreicht. Die informelle Vereinigung wurde jedoch nicht aufgelöst und man traf sich weiterhin zu Vorträgen über technische Themen. Erst 1842 wurden die ersten Statuten in Kraft gesetzt, die regel-

ten, wer Mitglied erster Klasse war und jährlich einen Vortrag halten musste aber dafür keine Jahresbeiträge bezahlte, die die Mitglieder zweiter Klasse übernahmen. Bis Ende der 1960er-Jahre traf man sich jeweils dienstags von Oktober bis März im Zunfthaus zur Saffran zu den Veranstaltungen, danach rund 20 Jahre im Haus zum Rüden, dann im Bahnhofbuffet und ab 2007 in einem Hörsaal der ETH Zürich. Periodika für die Mitglieder wurden bis heute keine verfasst; allerdings reiht sich das Jubiläumsbuch «Wissensdurst» in die Reihe von Festschriften zu runden Jubiläen ein, so z.B. zum 175-jährigen Jubiläum im Jahre 2000.

Fritz Gassmann



Wissensdurst 2025. 200 Jahre Technische Gesellschaft Zürich. TGZ (Hrsg.), hrsg. beim Verein für wirtschaftshistorische Studien, Zürich, ISBN 978-3-909059-90-4: 130 Seiten.

Ein Thema von globaler Bedeutung

Das Neujahrsblatt 2026 der NGZH widmet sich dem globalen Klimawandel. Die physikalische Basis dieser Entwicklung ist die Treibhauseigenschaft der Atmosphäre, welche die Wärmestrahlung der Erde in den Weltraum dämpft. Dafür verantwortlich sind Treibhausgase wie CO₂, Methan und Wasserdampf. Bemerkenswert ist, dass die gegenwärtige Klimaerwärmung ein selbstverstärkender Prozess ist: Durch die höheren Temperaturen nimmt der atmosphärische Wasserdampfgehalt zu, zusätzlich werden auch noch CO₂ und Methan, die bisher im Meer und auf dem Land gespeichert sind, in noch kaum schätzbaren Mengen freigesetzt.

Die permanenten CO₂-Messreihen dokumentieren seit Mitte des 20. Jahrhunderts einen kontinuierlichen Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, für den es ausser anthropogenen Ursachen keine andere plausible Erklärung gibt. Die Weltbevölkerung lag bei Beginn der Messreihen bei 3 Milliarden, heute liegt sie bei 8 Milliarden. Den vermehrten Anstrengungen beim Klimaschutz steht ein steigender Energiehunger der Weltbevölkerung entgegen, so dass derzeit keine Umkehr der Entwicklung in Sicht ist.

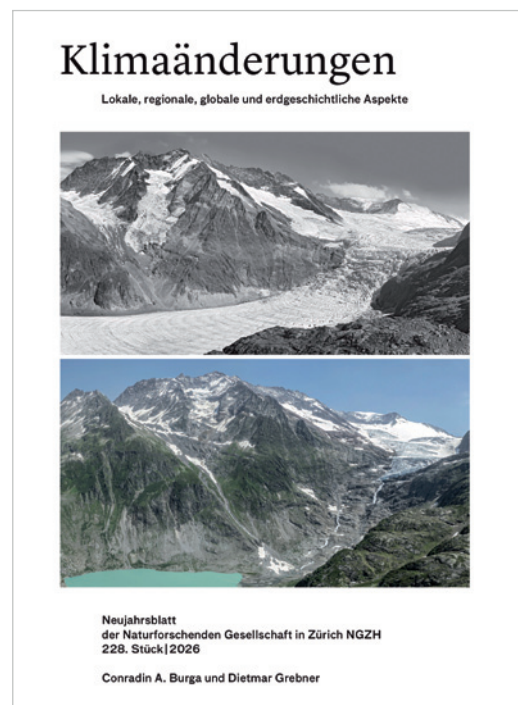
In der öffentlichen Wahrnehmung wird die Änderung des Klimas durch individuelle Betroffenheiten real erlebt, insbesondere infolge zunehmend schwerwiegender Wetter- und Witterungsereignisse sowie deren zeitlichen Verschiebungen.

Ein weites Forschungsfeld

Die Schweiz ist in allen wissenschaftlichen Ebenen zur Klimaänderung, national und international, mit Forschungsprojekten aktiv. Das grosse Themenspektrum wird im Neujahrsblatt 2026 an einigen Beispielen aufgespannt. In einem ersten Kapitel wird der Weg von der Wetterwahrnehmung zur differenzierten Forschung nachgezeichnet. Anschliessend werden – mit einem Fokus auf Zürich – die direkt oder indirekt vorliegenden Wetter- und Witterungsinformationen zusammengefasst und gezeigt, welche Schlussfolgerungen sich daraus ergeben.

In verschiedenen europäischen Regionen zeichnen sich erhebliche negative Änderungen bei den saisonalen Niederschlags- und Abflussmengen ab. Auch in der Schweiz ist inzwischen eine solche Verschiebung nachweisbar, auch wenn diese bisher noch nicht deutlich wahrnehmbar ist. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Gletscher, deren Abschmelzen die saisonalen Abflussmengen und zunehmende Bergsturzrisiken in vielen Regionen der Welt stark prägen.

Ein Vergleichsmass für die heutige Klimaänderung liefert die Paläoklimatologie, die im letzten Teil der Publikation thematisiert wird. Die mehrfachen Klimaänderungen seit der letzten Eiszeit werden durch Gletscher- und Waldgrenzenschwankungen in den Alpen belegt. Auch aus der Region Zürich werden Beispiele aus biotischen und abiotischen Klimaarchiven beschrieben.



Das Neujahrsblatt 2026 der NGZH ist erstmals am 2. Januar in der Zentralbibliothek Zürich erhältlich. Mitglieder der NGZH bekommen es ein paar Tage später per Post zugestellt.

Vorschau auf die Zoom-Vorträge im 4. Quartal 2025

Im Oktober haben wir wieder mit unserer jährlichen Vortragsreihe gestartet. Es gelang uns erneut, ein attraktives und vielseitiges Programm zusammenzustellen, das den unterschiedlichen Fachrichtungen Rechnung trägt, die in unserer Gesellschaft vertreten sind. Das Programm ist bewusst so konzipiert, dass keine speziellen Vorkenntnisse notwendig sind und dass alle Beiträge also auch für Laien bestens verständlich sind. Denn schliesslich ist es ja ein wichtiges Anliegen unserer Gesellschaft, über die Fachgrenzen hinweg den Austausch zu fördern.

Bewährtes Online-Format

Wie bereits in den Vorjahren führen wir unsere Vorträge auch dieses Jahr via Zoom durch. Das erlaubt einerseits unseren Mitgliedern, die nicht im Raum Zürich wohnen oder tätig sind, sowie allen anderen Interessierten, an diesen Vorträgen teilzunehmen. Und wie bisher stellen wir auch dieses Jahr alle Vorträge in einer leicht bearbeiteten Fassung auf unserer Webseite allen Interessierten frei zur Verfügung, damit sie diese nachträglich anschauen können.

Keine Einladung bekommen?

Eine Woche vor dem Vortrag verschicken wir jeweils eine Einladung per E-Mail. Ein Erinnerungs-Email kommt zusätzlich noch am Tag der Veranstaltung selber. Falls Sie noch keine Einladungen erhalten, schicken Sie bitte ein Email an sekretariat@ngzh.ch

Wir werden dann Ihre Adresse umgehend in unsere Versandliste eingetragen. Eine Kurzanleitung, wie Sie an einem Vortrag teilnehmen können, findet sich auf unserer Homepage unter Events.

Neugierig? Dann freuen wir uns, wenn Sie den einen oder anderen Vortrag anschauen unter <https://ngzh.ch/events>

Das Programm 2025

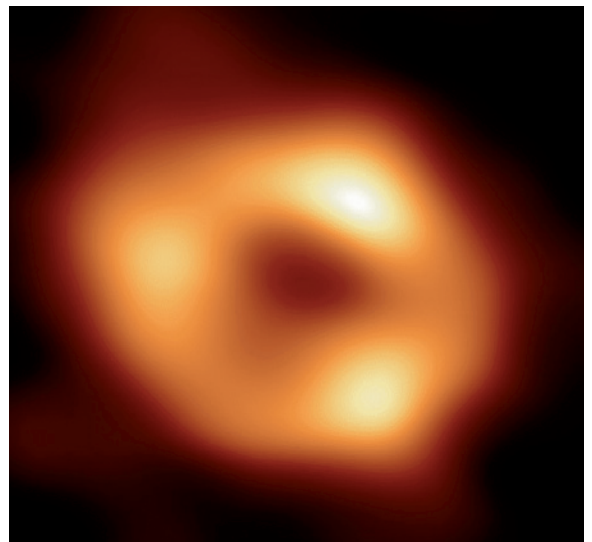
Das Vortragsprogramm 2025 umfasst sechs Vorträge, die wir Ihnen im folgenden gerne kurz vorstellen.

Mo, 27. Oktober 2025

Fritz Gassmann, ehemals Paul Scherrer
Institut PSI

Die Entdeckung des Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstrasse

Die spannende Entdeckungsgeschichte begann 1931 mit der Beobachtung eines leisen Rauschens im 15m-Kurzwellenband, das von ausserhalb des Sonnensystems aus der Richtung zum Sternbild des Schützen kam. Es folgte die Entwicklung der Radioastronomie, mit der unter anderem Radiopulsare entdeckt wurden, die sich als Neutronensterne herausstellten. 1974 wurde die Radioquelle Sgr A* im galaktischen Zentrum entdeckt, die sich durch ständige Weiterentwicklung der Technologie 2022 schliesslich unzweifelhaft als Schwarzes Loch mit 4 Millionen Sonnenmassen offenbarte.



Sagittarius A*, aufgenommen mit dem Event
Horizon Telescope (Bild: EHT Collaboration)

Mo, 10. November 2025
Prof. Dr. Dr. Adrian Egli, Institut für
Medizinische Mikrobiologie, Universität
Zürich

Wenn Fido beisst – tierischer Krankheits- erreger im Hund

Sie lieben Hunde? Ich auch. Aber wussten Sie, dass ein harmloser Biss – oder ein Schlecken auf einer kleinen Wunde – selten eine lebensgefährliche Infektion auslösen kann? *Capnocytophaga canimorsus* ist ein Bakterium aus der normalen Maulflora von Hunden. (Es kommt seltener auch bei Katzen vor). Der Vortrag erklärt Biologie und Epidemiologie, warum die Erreger unserer Abwehr entkommen können, warum es zunehmende Antibiotikaresistenzen gibt und welche Massnahmen Infektionen verhindern.

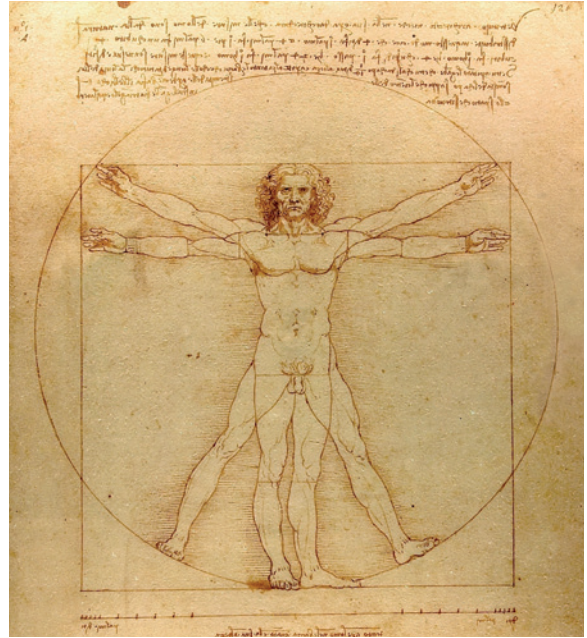


Hund in Kostüm – KI-generiertes Bild (Bild: Adrian Egli)

Mo, 24. November 2025
Dr.med. Dr.sc.nat. Max Kälin MD,
Leitender Arzt, Notfall Zürich 3

Fundamentalkonstanten, Neuron und Erkenntnis

Das Erkennen der physikalischen Fundamen-
talkonstanten ist historisch eine Leistung des



Homo vitruvianus, die berühmte Zeichnung von
Leonardo da Vinci (um 1490) (Bild: Wikipedia
gemeinfrei)

menschlichen Zentralnervensystems, mit dem Neuron als Funktionseinheit. Konstanten und Neuron stehen in einer Beziehung: Qualitativ sind beide fundamentaler Natur.

Quantitativ befindet sich das Neuron logarithmisch in der Mitte der räumlichen Beobachtungsgrenzen, der Planck-Länge auf der kleinen Seite und dem Partikelhorizont als Grenze des beobachtbaren Universums auf der grossen Seite.

Diese quantitative Beziehung verknüpft Fundamentalkonstanten und Neuron, respektive Fundamentalkonstanten und biologische Komplexität.

Erkenntnisfähigkeit in Form des Menschen ist ohne Evolution des Lebens undenkbar. Diese wiederum ist angewiesen auf stabile biologische Moleküle, die nicht existieren könnten hätten die Fundamentalkonstanten nicht die Werte die sie haben (Anthropisches Prinzip). Kurz, ohne Neuron keine Fundamentalkonstanten, ohne Fundamentalkonstanten kein Neuron.

Der Ouroboros der Antike, die Schlange die sich in den Schwanz beisst, lässt grüssen.



Die Erkenntnisse der Teilchenphysik, die im Beschleuniger LHC am Cern gewonnen werden (links im Bild) sollen mithelfen zu erklären, wie unser Kosmos (rechts im Bild) entstanden ist. (Bild: CERN)

Mo, 8. Dezember 2025
Dr. Katharina Müller, Physik-Institut,
Universität Zürich

Das Rätsel der Antimaterie

Wenn Materie und Antimaterie sich eigentlich gegenseitig auslöschen, wieso konnte das Universum entstehen? Bis heute ist nicht verstanden, wieso sich Materie und Antimaterie kurz nach dem Urknall nicht gegenseitig komplett ausgelöscht haben und wieso wir in einem Universum leben, das von Materie dominiert wird.

Dieser Frage wird unter anderem an den Experimenten am CERN nachgegangen. Erfahren Sie in diesem Vortrag, was genau Antimaterie ist und wieso deren Verständnis so wichtig ist.

Mo, 15. Dezember 2025
Dr. Silvia Volante, Oberassistentin am
Geologischen Institut des Departments Erd-
und Planetenwissenschaften an der ETH
Zürich

Verständnis geologischer Prozesse an konvergen- ten Plattengrenzen

Einige der stärksten und zerstörerischsten Erdbeben der Erde ereignen sich dort, wo tektonische Platten an konvergen-ten tektonischen Grenzen aufeinander treffen. In diesen Regionen kann eine Platte unter eine andere absinken, Gesteine werden zusammengedrückt und zerbrochen und Gebirgszüge entstehen. Unsere Gruppe für Strukturgeologie und Tektonik untersucht, wie sich Gesteine dort biegen, brechen und langsam fließen und was dies für das Erdbebenverhalten bedeutet.

Wir untersuchen auch alte Gebirgszonen, die lange vor der vollständigen Entstehung des heutigen Plattentektoniksystems entstanden sind. Durch den Vergleich junger und alter Gebirge gewinnen wir Erkenntnisse darüber, wie sich unser Planet – und seine



Fjordlandschaft in Grönland. Auch dieses Gebirge entstand durch tektonische Vorgänge in der Erdkruste. (Bild: Algalv/Wikimedia Commons)

Kontinente und das Leben auf ihm – im Laufe der Zeit verändert haben. Dazu verbinden wir verschiedene Methoden und Maßstäbe, darunter Feldforschung, Mikroskopie, Experimente und numerische Modelle, um zu verstehen, wie sich die äußere Hülle der Erde und ihre Kontinente im Laufe der Zeit entwickelt haben.



Chaotisches Wasserrad an der FHNW Brugg-Windisch. (Bild: K. Schöllhorn, FHNW)

Mo, 22. Dezember 2025

Prof. Dr. Rudolf M. Füchslin, Leiter der Gruppe Angewandte Komplexitätswissenschaften, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften Winterthur (ZHAW) und Co-director European Centre for Living Technology, Venice (Italy)

Anwendungen von Komplexen Systemen – Eine Wissenschaft wird erwachsen

Die Faszination für komplexe Systeme begann mit einer Kombination aus wissenschaftlichem Staunen über das Verhalten nichtlinearer Systeme und ästhetischer Freude an den fremdartig schönen geometrischen Strukturen, die sich daraus ergeben.

Heute ist die Faszination für diese Systeme weiterhin ungebrochen und es zeigt sich, dass die Lehren aus der Spannung zwischen der scheinbaren Einfachheit der Modelle und dem Reichtum ihres Verhaltens reif für die Anwendung und die Verbindung zu anderen Wissensgebieten sind.

In diesem Vortrag zeige ich, wie angewandte Forschung heute von phänomenologischen Modellen profitiert, wie wertvoll die Begrifflichkeiten und Methoden der Complex Systems Science sind und wie wir gerade jetzt dank Data Science und KI einen weiteren Entwicklungsschritt hin zum Komplexen, aber immer noch Simulierbaren machen.

Beispiele aus der Medizin, Decision support und biomedizinischer Forschung dienen als Illustration. Weiter gebe ich einen Ausblick auf die neuen Gebiete der «material intelligence» und des «morphological computing», in denen emergentes Verhalten nicht nur beobachtet, sondern zur Steuerung komplexer Prozesse eingesetzt werden soll.

Entdecken Sie unser Vortragsarchiv
Auf unserer Homepage können Sie übrigens auch alle 28 Vorträge, die wir seit dem Herbst 2021 durchgeführt haben, in bereinigter und teilweise leicht gekürzter Fassung nachhören und nachsehen. Finden Sie unter diesem Link das passende Thema:
<https://ngzh.ch/events/>

Die Vierteljahrsschrift (VJS) erscheint viermal jährlich:
März, Juni, September, Dezember

Herausgeber

Naturforschende Gesellschaft in Zürich NGZH

NGZH-Vorstand

Dr. Fritz Gassmann (Präsident)
Dr. Felix Würsten (Quästor)
Dr. René Oetterli (Soziale Medien)
Dr. Heinzpeter Stucki (Archivar)
Prof. em. Dr. Conradin A. Burga
Nicole Dettwiler (Studierendenvertreterin)
Prof. em. Dr. Rolf Rutishauser
Prof. em. Dr. Martin Schwyzer
Prof. em. Dr. Wilfried Winkler
Prof. Dr. Felix Zelder

Gestaltungskonzept

Barbara Hoffmann
www.barbara-hoffmann.com

Redaktion und Satz

Felix Würsten

Druck

Koprint AG, Alpnach Dorf

Auflage

900

Kontakt

Sekretariat der NGZH
Sekretariat a.i.
Fritz Gassmann
Limmatstrasse 6
5412 Vogelsang
sekretariat@ngzh.ch

redaktion@ngzh.ch
www.ngzh.ch

Redaktionsschluss

31. Januar / 30. April
31. Juli / 31. Oktober

ISSN

0042-5672

Nachdruck

Mit Quellenangabe erlaubt

Mit Unterstützung von:



Veranstaltungen

2. Januar 2026, 10-12 Uhr
Zentralbibliothek
Zähringerplatz 6, Zürich

«STUBENHITZEN» UND NEUJAHRSBLÄTTER

Der 2. Januar, auch Bächtelistag genannt, ist eine feste Grösse im Kalender traditionsbewusster Zürcher und Zürcherinnen. Seit 1645 werden traditionell am diesem Tag die Neujahrsblätter ausgegeben. Im Mittelalter holten Kinder gegen Geldbeträge und allfällige Gaben (sogenannte Stubenhitzen) in den Räumen der verschiedenen Zürcher Gesellschaften die Jahresblätter ab und wurden dort mit Getränken und Süssigkeiten bewirtet. Bis heute wird dieser jährlich stattfindende Brauch weitergeführt, obwohl sich die Zielgruppe mittlerweile von der minderjährigen Bevölkerung entfernt haben mag. Auch 2026 darf man sich wieder auf vielseitige Publikationen aus den Bereichen Geschichte, Musik, Kunst, Medizin und Militärwesen freuen. Die NGZH ist diesmal mit dem Neujahrsblatt 2026 «Klimaänderungen: Lokale, regionale, globale und erdgeschichtliche Aspekte» vertreten (s. dazu auch S. 17).

Weitere Informationen: www.zb.uzh.ch/de/events/

Ausstellungen

bis 29. Februar 2027
focusTerra
ETH-Zürich, Gebäude NO
Sonneggstrasse 5, Zürich

KEEP IT CO₂OL – RETTET UNS HIGH-TECH?

Geht es beim Klimaschutz wirklich nur um Verzicht – oder doch eher um einen Tausch: alte Gewohnheiten gegen neue Möglichkeiten?

An der ETH Zürich wird an Technologien geforscht, die ein gutes Leben für alle

ermöglichen – auch in Zukunft. Etwa Fliegen mit Solartreibstoff, Autofahren mit erneuerbarer Energie oder Fleisch aus Zellkultur statt Massentierhaltung.

Die Ausstellung «KEEP IT CO₂OL – Rettet uns High-Tech?» zeigt, wo wir stehen – und was wir gewinnen können. Sie bringt Forschung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft ins Gespräch. Denn CO₂ zu reduzieren heisst nicht, weniger zu leben – sondern gemeinsam mehr Lebensqualität für alle zu erhalten.

Zukunft entsteht, wenn technologischer Fortschritt und gesellschaftlicher Wandel zusammenkommen.

Die Ausstellung wird begleitet von einem reichen Rahmenprogramm mit Workshops, Führungen, Vorträgen und vielem mehr.

Weitere Informationen: <https://focusterra.ethz.ch/sonderausstellungen/aktuell.html/>

verlängert bis 8. Februar 2026
Kulturama, Museum des Menschen
Englischviertelstrasse 9, Zürich

ERLEBNISRAUM STEINZEIT

In einem interaktiven Erlebnisraum können Sie verschiedene Fertigkeiten aus der Steinzeit selbst ausprobieren und dabei die Errungenschaften und Herausforderungen der Steinzeitmenschen erleben.

Zugang für Kinder ab 6 Jahren unter Aufsicht einer erwachsenen Person.

Weitere Informationen: www.kulturama.ch/ausstellungen/sonderausstellung/

