

Vierteljahrschrift

1|2023
Jahrgang 168

der Naturforschenden Gesellschaft
in Zürich NGZH



4 Die Suche nach dem Unsichtbaren

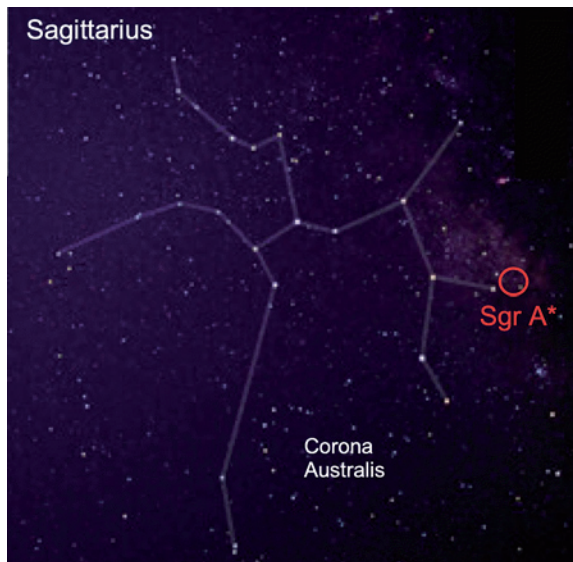
Dass sich im Zentrum der Milchstrasse ein Schwarzes Loch befindet, weiss man schon länger. Doch erst kürzlich konnte dieses auch abgebildet werden.

Brief des Präsidenten

Unsere Titelgeschichte gleicht auf den ersten Blick derjenigen im Heft 2|2019 betreffend das erste Bild eines Schwarzen Lochs, das als riesige Sensation gefeiert wurde. Für die Wissenschaft ist jedoch das in diesem Heft behandelte Schwarze Loch Sgr A* im Zentrum unserer Galaxie bedeutender und es war auch das ursprüngliche Ziel des Projektes Event Horizon Telescope. Es ist 2000 mal weniger weit entfernt und deshalb lassen sich Sterne beobachten, die um dieses Monster kreisen und dabei Geschwindigkeiten von bis zu 7 Prozent der Lichtgeschwindigkeit erreichen. Mit Hilfe der Kepler-Gesetze lässt sich daraus die Masse des Schwarzen Lochs zweifelsfrei bestimmen. Beim viel weiter entfernten Objekt konnte diese nur indirekt geschätzt werden. Erst die Tatsache, dass diese direkt bestimmte Masse mit dem aus der Relativitätstheorie bestimmten und fotografierten Radius des Schattens zusammenpasst, ist für Physiker der endgültige Beweis, dass die Relativitätstheorie zumindest in grossen Dimensionen alles korrekt beschreibt.

An einer Zoom-Sitzung hat der Vorstand am 15. Februar nebst anderen Themen die Jahresabrechnung 2022 behandelt. Obwohl das Neujahrsblatt «Greifensee» vollständig durch Sponsoring finanziert werden konnte, sank das Eigenkapital um rund Fr. 16 600, wovon Fr. 14 900 Kursverluste waren. Auch wenn sich letztere wieder teilweise erholen könnten, rückt leider der Verzicht auf die gedruckte Ausgabe für unsere Vierteljahrsschrift in Sichtweite. Insbesondere auch deswegen, weil eine kostspielige Erneuerung unserer Homepage ansteht.

Ein weiteres Thema war die wenig befriedigende Situation mit der Hauptversammlung. Wir suchen immer noch eine für unsere Mitglieder ansprechendere Lösung, um deutlich mehr Mitglieder für den Anlass zu gewinnen, was uns bisher trotz vieler Versuche nur selten gelungen ist. Für das kommende Jahr sehen wir als Versuch vor, die diesjährige Vortragsreihe bis März 2024 laufen zu lassen und



Sgr A* befindet sich am Rand der Sternkonstellation Sagittarius (Schütze). Seine Position ist in Sommernächten im Süden knapp über dem Horizont sichtbar. Der untere Teil des Sternbildes ist nur in Südeuropa zu sehen. (Bild Till Kredner Wikipedia CC BY-SA 3.0, Texte F. Gassmann)

den letzten Vortrag mit der Hauptversammlung zu kombinieren. Bis dahin gibt es aber noch genügend Zeit, um noch bessere Vorschläge einzubringen. Ich freue mich auf jeden noch so unkonventionellen Vorschlag.

Unsere beiliegende Rechnung für den Jahresbeitrag ist nun ebenfalls mit einem QR-Bezahlabschnitt ausgestattet. Die Umstellung hat unserem Quästor einigen Zusatzaufwand abverlangt, doch nun vereinfacht die engere Kopplung der Adressdaten und der Finanzen in einer neuen Online-Datenbank unsere internen Abläufe. Wir hoffen, dass Sie diese Neuerung nach einer Übergangszeit ebenfalls als angenehm empfinden werden.

Fritz Gassmann

ngzh

• • • • •

Naturforschende
Gesellschaft in Zürich
www.ngzh.ch

– AKTUELL

4 **Unser super-
massives
Schwarzes Loch**

– PHYSIK IM ALLTAG

9 **Miniatur-Antennen für GPS und
WLAN**

– GEWÄSSERSCHUTZ

12 **Viele Fortschritte und ein paar
neue Sorgen**

– DAS EXPERIMENT

16 **Das Leben und wie man es macht**

– OSWALD HEER-PREIS

19 Ausschreibung zur 5. Preisvergabe 2024

– VORTRAGSREIHE

20 Alle Vorträge online

– FÜHRUNG

21 Eine Zeitreise zu geologischen
Leckerbissen des Kantons Zürich

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 vom letzten Winter finden sich unter:
www.ngzh.ch/publikationen

Titelbild: Die Milchstrasse, die Galaxie, in der wir leben, fasziniert mit ihren unzähligen Sternen die Menschen seit jeher. Und sie hat auch heute noch einige Überraschungen für die Wissenschaft bereit.
(Bild: Stefan Stefancik, Pexels)

Unser supermassives Schwarzes Loch

Drei Jahre nachdem das Bild des Schwarzen Lochs M87* veröffentlicht wurde, sah die Menschheit im Frühling 2022 erstmals ein Bild des supermassiven Schwarzen Lochs Sgr A* im Zentrum unserer Galaxie. Dieser Artikel zeigt, weshalb dieses eigentliche Zielbild des Projektes Event Horizon Telescope (EHT) schwieriger zu erreichen war als dasjenige von M87* und warum es wissenschaftlich gesehen wesentlich interessanter ist.

Radiowellen aus der Richtung des Sagittarius

Im Neujahrsblatt 1954 beschreibt Max Waldmeier, wie der US Physiker Karl G. Jansky im Dezember 1931 rauschartige Störungen im Kurzwellenbereich feststellte, die nur tagsüber auftraten und von Osten nach Westen wanderten (Abb. 1). Bereits nach etwa einem Monat konnte er die Sonne als Quelle ausschliessen, da die Störungen jeden Morgen um durchschnittlich 4 Minuten früher im Osten erschienen und deshalb synchron mit der Sternzeit und nicht mit der Sonnenzeit auftraten.

Es musste sich also um eine Quelle ausserhalb des Sonnensystems handeln. Nach weiteren Beobachtungen wurde klar: Die Radiowellen, die die Störungen verursachten, mussten aus dem Sternbild Sagittarius (Schütze) stammen, wo die Milchstrasse am hellsten erscheint. Jansky nahm deshalb an, dass die Radiowellen aus unserer Galaxie stammten und nannte die Störungen «galaktisches Rauschen». Hätte man dieser Beobachtung mehr Aufmerksamkeit geschenkt, wäre die Radioastronomie nicht erst Ende der 1940er-Jahre entstanden.

Vermutung eines Schwarzen Lochs im Zentrum unserer Galaxie

Die US Radioastronomen Robert L. Brown und Bruce Balick entdeckten 1974 mit Hilfe von gekoppelten Radioteleskopen, die rund 40 km voneinander entfernt waren, eine schwache Radioquelle im Zentrum der Milchstrasse. Die Quelle zeigte kein ther-

misches Strahlungsspektrum wie ein Stern, war erstaunlich klein und regte die Wasserstoffwolken in der Umgebung zum Strahlen an. Brown und Balick vermuteten, dass es sich bei der Quelle um ein Schwarzes Loch handeln könnte und nannten es in Anlehnung an die in der Kernphysik übliche Bezeichnung für angeregte Atome Sgr A* (Sgr = Sagittarius, * bedeutet angeregt).

Die Hypothese, dass im Zentrum der meisten oder sogar aller Galaxien Schwarze Löcher mit Millionen bis Milliarden Sonnenmassen liegen, geht auf die frühen 1960er-Jahre zurück. Sie basiert auf Beobachtungen von sogenannten Quasaren (oder Quasi Stellar Objects). Diese Quasare wurden in kosmologischen Entfernungen von vielen Milliarden Jahren gefunden und waren teilweise heller als ganze Galaxien.

Als plausibelste Energiequelle wurde die Umwandlung von Gravitationsenergie in elektromagnetische Strahlung in der Umgebung von Schwarzen Löchern angesehen. Also mussten diese Objekte dort angesiedelt sein, wo die Materiedichte gross ist, wie in den Zentren der Galaxien.

Mit dem Hubble Space Telescope konnte später bestätigt werden, dass Quasare wirklich im Zentrum von Galaxien sitzen, die rund 10 Mia. Jahre in der Vergangenheit liegen. Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie dürfte «auf Diät gesetzt sein», da es bereits alle leicht erreichbare Materie in seiner Umgebung verschlungen haben dürfte. Deshalb leuchtet es nur noch schwach.

Um Sgr A* kreisende Sterne

Der endgültige Beweis, dass Sgr A* ein Schwarzes Loch ist, kann nur erbracht werden, wenn gezeigt werden kann, dass die in ihm enthaltene Massendichte jede abweichende Hypothese ausschliesst. Die technische Weiterentwicklung von optischen und Radioteleskopen hat zu Beginn der 1990er-Jahre einen Stand erreicht, der es erlaubte, diese Herausforderung anzugehen.

Andrea Ghez (USA) und Reinhard Genzel (D) versuchten mit verschiedenen Methoden, Bahnen von Sternen, die um Sgr A* kreisen, zu vermessen. Das Zentrum der Milchstrasse ist von der Erde aus

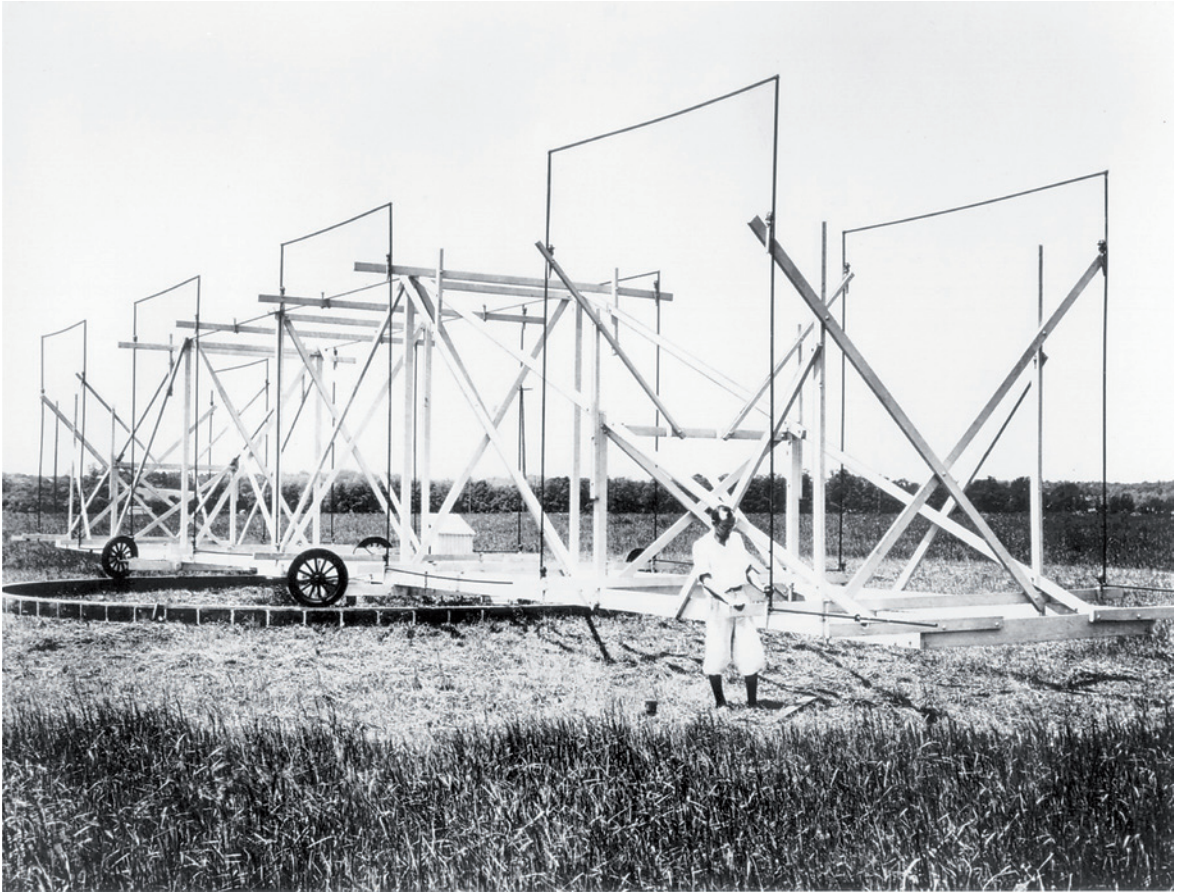


Abb. 1: Karl Jansky mit seiner drehbaren 20,5-MHz-Kurzwellenantenne (15 m Band) in Holmdel (New Jersey, USA). Mit dieser Antenne stellte er nach monatelangen Beobachtungen ein Rauschsignal fest, das aus dem Zentrum der Milchstrasse kam. Jansky war bei den Bell Telephone Laboratories angestellt, die den Kurzwellenbereich für transatlantische Radiotelefonverbindungen nutzen wollte. (Bild: NRAO/AUI, CC BY 3.0)

im sichtbaren Bereich nicht beobachtbar, da Gas- und Staubwolken die Strahlung um mehr als eine Billion (10^{12}) mal abschwächen. Im infraroten Bereich bei $2,2\mu\text{m}$ Wellenlänge ist die Abschwächung jedoch nur etwa einen Faktor 10 (vgl. Schödel 2021).

Mit einem 10-Meter-Teleskop ist die maximal mögliche Auflösung $1,2 \times 2,2 \mu\text{m} / 10 \text{ m} = 0,26 \mu\text{rad}$ ($\approx 0,054$ Bogensekunden, vgl. VJS 2|2019, S. 6-9). In der Entfernung des galaktischen Zentrums von 27000 Lichtjahren können damit zwei Sterne als getrennt erkannt werden, wenn sie mindestens 440 AE auseinander liegen. (Eine Astronomische Einheit [AE] beträgt 500 Lichtsekunden oder 150 Mio. km [Distanz Erde-Sonne]).

Die atmosphärische Turbulenz verringert diese Auflösung aber noch zusätzlich um den Faktor 10 bis 20. Die beiden Forschungsgruppen um Ghez und Genzel haben dieses Problem mit zwei verschiedenen Techniken gelöst und erzielten nach

einigen Jahren sehr ähnliche Parameter für die Umlaufbahnen von mehreren Sternen. Diese Übereinstimmung der Resultate basierend auf zwei verschiedenen Methoden war entscheidend für deren Akzeptanz innerhalb der anfänglich skeptischen astronomischen Forschergemeinschaft.

Bemerkenswerte Umlaufbahn

Der Stern S2 stellte sich als besonders interessant heraus, weil seine Umlauf-Ellipse eine grosse Exzentrizität zeigte. Der entscheidende Moment geschah im Frühling 2002, als S2 das Perizentrum seiner Bahn und damit seine maximale Geschwindigkeit erreichte. Nun konnten alle Bahnparameter berechnet werden: Die grosse Halbachse ist ca. 1000 AE weit, Umlaufzeit beträgt 16 Jahre und Exzentrizität 0,89 (vgl. Abb. 2). Aus dem dritten Keplersgesetz folgt, dass eine Kreisbahn mit einem Radius von 1000 AE dieselbe Umlaufzeit hätte.

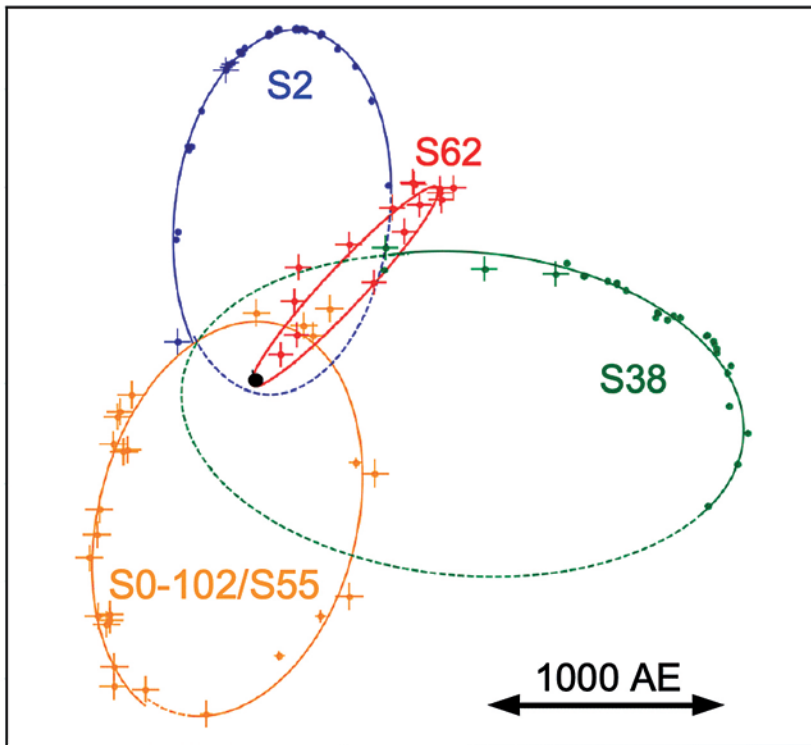


Abb. 2: Bahnellipsen der vier nahe um Sgr A* kreisenden Sterne S2, S62, S38 und SO-102/S55. Die Sterne wurden durch Infrarot-Teleskope beobachtet. Sgr A* liegt beim schwarzen Punkt. (Figur aus Peissker F. et al. 2020, Gold Open Access, Ergänzungen in Schwarz durch F. Gassmann)

Die entsprechende Geschwindigkeit wäre also $2 \times 1000 \times \pi / 16$ AE/Jahr. Nach Umrechnung der Masseinheit ergibt sich die enorme Geschwindigkeit von 1867 km/s.

Bei der gemessenen Exzentrizität von 0,89 ist der Stern S2 im Perizentrum 110 AE (11 Prozent von 1000 AE) vom Zentrum des hypothetischen Schwarzen Lochs entfernt und hat dort näherungsweise (mit dem Newtonschen Energiesatz berechnet) eine Geschwindigkeit von 7750 km/s, also 2,6 Prozent der Lichtgeschwindigkeit! Zum Vergleich: Die Erde bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 30 km/s um die Sonne. Mit S2 kann also die Relativitätstheorie mit grossen Massen erstmals direkt überprüft werden und bisherige Resultate zeigen eine perfekte Übereinstimmung im Rahmen der Messgenauigkeit.

Die Masse von Sgr A*

Aus der oben erwähnten kreisförmigen Bahn mit Radius r_m und Geschwindigkeit v_m kann auch die Masse M des Zentralobjekts bestimmt werden. Mit

dem Newtonschen Bewegungs- und Gravitationsgesetz ergibt sich die Beziehung $M = v_m^2 r_m / G$, wobei G die Gravitationskonstante bedeutet. Damit erhält man 3,92 Millionen Sonnenmassen, was mit den neuesten Resultaten von 4,15 Millionen (Peissker et al. 2020) gut übereinstimmt.

Obwohl dieses Objekt also 4 Millionen mal mehr Masse hat als die Sonne, leuchtet es nur etwa 100 mal heller als diese. Seine riesige Masse ist innerhalb einer Kugel mit einem Radius von weniger als 110 AE konzentriert.

Die Messungen reichen noch nicht

Der Schwarzschildradius in Kilometern (also der sogenannte Ereignishorizont) eines Schwarzen Lochs ist in guter Näherung dreimal seine Masse gemessen in Sonnenmassen. Für Sgr A* ergibt sich so 12 Mio. km oder 0,08 AE. Ein Perizentrum von 110 AE genügt also nicht, um die Existenz eines Schwarzen Lochs zu beweisen. Wir benötigen zusätzlich ein Bild mit einer Auflösung, die wesentlich besser ist als die 440 AE der Infrarotteleskope.

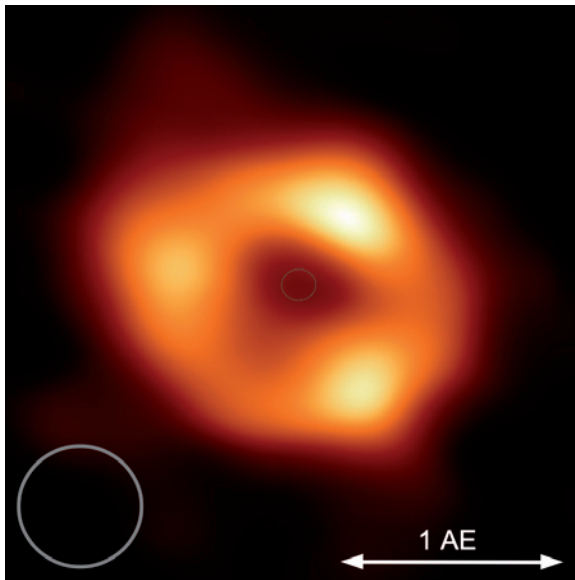


Abb. 3: Das erste Bild von Sgr A*, dem supermassiven Schwarzen Loch im Zentrum der Milchstrasse. Es wurde 2017 aufgenommen durch das Projekt «Event Horizon Telescope» (EHT). In diesem Projekt wurden Radioteleskope an acht über die Erde verteilten Standorten zusammengeschlossen. Damit wurde die Auflösung eines virtuellen Teleskops mit dem Durchmesser der Erde erreicht. Das Unschärfescheibchen ist als grauer Kreis links unten angegeben. Das Schwarze Loch selbst (Ereignishorizont = grauer Kreis in Bildmitte) ist unsichtbar und liegt im Zentrum seines «Schattens», der einen Durchmesser von 0,43 AE hat. Der leuchtende Ring ist die Lichtemission von Ionen, die das Schwarze Loch mit nahezu Lichtgeschwindigkeit umkreisen. Sgr A* enthält die Masse von 4 Millionen Sonnen. Die ungefähre Grösse von 1 AE ist durch den Doppelpfeil angegeben. (Bild: EHT Collaboration, CC BY 4.0, graue und weisse Ergänzungen F. Gassmann)

Erstaunliche Befunde

Bereits vor diesem lang ersehnten Bild ergaben Spektralanalysen von S2 erstaunliche Resultate: Die Astronomen waren überrascht, dass sich S2 als kurzlebiger Stern mit etwa 15 Sonnenmassen herausstellte. Eine Bildung dieses Sterns so nahe bei einem so riesigen Gravitationszentrum wird als unmöglich erachtet. Aber auch die Sternbildung in grösserer Distanz und anschliessende Heranführung zu Sgr A* scheint aus Zeitgründen nicht in Frage zu kommen. Andrea Ghez hat deshalb in einer Publikation von 2003 vom *paradox of youth* gesprochen (vgl. Schödel 2021). Ghez und Genzel erhielten für ihre bahnbrechenden Entdeckungen den Physik-Nobelpreis 2020.

Das Bild des Schwarzen Lochs, um das sich unsere Galaxie dreht

Die Arbeiten der Gruppen um Ghez und Genzel ergaben noch ein weiteres, sehr nützlich Resultat: Da Sgr A* im Infrarotbereich nicht zu sehen war, kombinierten die Astronomen Infrarotbilder mit Mikrowellenaufnahmen von Radioteleskopen, auf denen die Position von Sgr A* zu erkennen war. Mit Hilfe von 7 in beiden Wellenlängenbereichen gut sichtbaren Sternen, die weniger als 15 Bogensekunden von Sgr A* entfernt liegen, wurde ein Referenzkoordinatensystem entwickelt, in dem das Zentrum von Sgr A* exakt und stabil festgelegt werden konnte.

Dieses Koordinatensystem war hilfreich, um die im Event Horizon Telescope Projekt (EHT) zusammengeschlossenen Radioteleskope exakt auf Sgr A* auszurichten. Die Rohdaten von Sgr A* und M87* wurden alle im April 2017 während 10 Tagen aufgenommen und ergaben über 65 Stunden Daten, die 1024 Festplatten mit einer Kapazität von je 8 Terabyte füllten.

Weil sich Sgr A* innerhalb von Minuten stark veränderte, entschied die EHT-Projektleitung, zuerst das wesentlich ruhigere Objekt M87* in ein Bild umzuwandeln (vgl. VJS 2|2019, S. 4-5) und an diesem einfacheren Objekt die besten Strategien zu entwickeln. Am 10. April 2019 wurde das erste Bild eines Schwarzen Lochs veröffentlicht und als Sensation gefeiert. Obwohl unser Schwarzes Loch im Zentrum der Milchstrasse wissenschaftlich wesentlich interessanter ist, war das öffentliche Interesse weniger gross, als dessen Bild am 12. Mai 2022 publiziert wurde (vgl. Abb. 3 und Fletcher 2022).

Ähnlich, aber viel kleiner

Das Bild von Sgr A* ist demjenigen von M87* sehr ähnlich, aber rund 1600 mal kleiner. Beide zeigen den typischen Schatten mit einem Radius von 2,6 Schwarzschildradien, was beweist, dass es sich wirklich um ein Schwarzes Loch handelt. Der Radius des Schattens von Sgr A* ist 26 Mikrobogensekunden, was etwa dem Radius eines Doughnuts auf dem Mond entspricht. Der Schwarzschildradius beträgt 10 Mikrobogensekunden oder umgerechnet 0,083 AE, was hervorragend mit dem aus der Masse berechneten Radius von 0,08 AE (vgl. voriger Abschnitt) übereinstimmt. Dies beweist, dass es sich wirklich um ein Schwarzes Loch handelt!

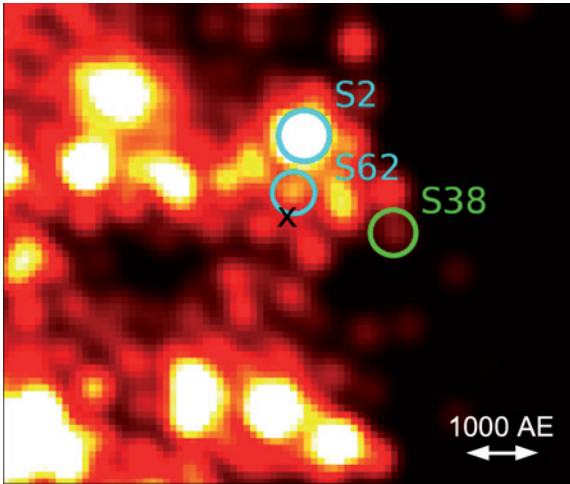


Abb. 4: Am Europäischen Südobservatorium ESO in Chile aufgenommenes Bild des galaktischen Zentrums. Die Position des Schwarzen Lochs Sgr A* ist mit dem schwarzen Kreuz bezeichnet. Kreise markieren die drei um Sgr A* rotierenden Sterne S2, S62 und S38. Das Bild wurde im nahen Infrarot (1,1 - 2,45 μm Wellenlänge) aufgenommen. Mit Hilfe einer adaptiven Optik wurden die Verzerrungen durch die atmosphärische Turbulenz eliminiert und das Licht mit dem neu entwickelten Infrarot-Spektrometer SINFONI analysiert. (Bild aus Peissker et al. 2020, Gold OpenAccess, Massstab angefügt durch F. Gassmann)

Das Schwarze Loch scheint sich zu drehen, aber die Rotationsgeschwindigkeit ist noch unklar. Es ist unruhig und produziert sogar grosse Ausbrüche. Eine solche Röntgen-Flamme (*x-ray-flare*) wurde am 11. April 2017 beobachtet und wird noch analysiert. Auch die Umgebung von Sgr A* ist interessant: Innerhalb eines Radius von 10 Lichtjahren um das Schwarze Loch herum befinden sich über eine Million Sterne. Dies ist im Vergleich zu den 14 Sternen innerhalb einer gleich grossen Kugel rund um die Sonne sehr, sehr viel.

Weitere Sterne nahe bei Sgr A*

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden die Beobachtungsmethoden weiterentwickelt und die Apparaturen erreichten immer höhere Genauigkeiten und Empfindlichkeiten. Dies erlaubte die Entdeckung weiterer Sterne im Nahfeld von Sgr A*.

Sehr interessant ist S62 mit einer Bahn innerhalb von S2 mit noch stärkerer Exzentrizität von 0,976, einer grossen Halbachse von nur 740 AE und einer Umlaufzeit von 9,9 Jahren (vgl. Abb. 2 und 4). Er nähert sich dem Schwarzen Loch im Perizentrum

bis auf 18 AE und hat dort eine Geschwindigkeit von sagenhaften 20 000 km/s, was 6,7 Prozent der Lichtgeschwindigkeit entspricht.

Zufolge relativistischer Effekte nimmt seine Masse dabei um messbare 2,3 Promille zu. Damit wird es möglich, die Relativitätstheorie noch viel genauer zu überprüfen als bisher. So dreht sich die Bahnellipse aufgrund relativistischer Effekte um das Gravitationszentrum herum.

Beim Merkur konnte dieser Effekt nachgewiesen werden, obwohl die Drehung nur 43 Bogen Sekunden pro Jahrhundert ausmacht. Bei S62 vergrössert sich die Drehgeschwindigkeit um etwa den Faktor 1000 auf 12,5 Winkelgrade pro Jahrhundert. Damit lässt sich der Effekt bei S62 wesentlich präziser messen als beim Merkur. Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie wird also zum Prüffeld für die relativistische Physik!

Gibt es Schwarze Löcher näher bei uns?

Astronomen nehmen an, dass es mindestens zwölf weitere Schwarze Löcher gibt, die näher bei uns sind als Sgr A* (vgl. List of nearest known black holes auf Wikipedia). Das der Erde am nächsten liegende vermutete Schwarze Loch «Gaia BH1» wurde 2022 mit Hilfe des ESA-Weltraumobservatoriums «Gaia» entdeckt. Es ist 1560 Lichtjahre entfernt und hat eine Masse von fast 10 Sonnen und daher einen Radius des Ereignishorizonts von gegen 30 km. Es wird umkreist von einem beobachtbaren Stern, der stark unserer Sonne gleicht. Da sich dieses Binärsystem in einer Region mit sehr kleiner Massendichte befindet, kann sich kein Feuerring um das hungernde Schwarze Loch herum bilden, weshalb dieses vollkommen unsichtbar ist. Es wäre höchstens durch den Gravitationslinseneffekt zu entdecken, wenn es sich über Hintergrundsterne hinwegbewegen würde.

Fritz Gassmann

Literatur

Fletcher S. 2022. Portrait of a Black Hole. Scientific American, Sept. 2022: 46-51.

Peissker F. et al. 2020. S62 on a 9.9-year orbit around Sgr A*. ApJ 889:1, arXiv:2002.02341v1, 31.1.2020.

Schödel R. 2021. The Discovery of the Massive Black Hole at the Centre of the Milky way. SPG Mitteilungen 63: 10-12.

Miniatur-Antennen für GPS und WLAN

Antennen haben typischerweise Dimensionen, die der halben Wellenlänge der zu empfangenden Signale entsprechen. Bei GPS und WLAN wären dies also 10 und 6 Zentimeter. Solche Antennen fänden weder in Handys und schon gar nicht in steckbaren WLAN-Adapttern Platz. Patch-Antennen als Hohlraumresonatoren können jedoch im Millimeter-Format gebaut und in elektronische Leiterplatten integriert werden.

Die Orgel als Sendeantenne für Schall

Bei einer Kirchenorgel ist jede einzelne Pfeife ein Hohlraumresonator. Ihre Länge bestimmt die Frequenz f (Tonhöhe) des entsprechenden Tones und muss etwa die halbe Wellenlänge betragen, also $c_L/2f$. Dabei ist c_L die Schallgeschwindigkeit in Luft, die praktisch nicht verändert werden kann.

Wir nehmen als Beispiel den Kammerton a' mit $f = 440$ Hertz. Unter normalen Bedingungen beträgt $c_L = 343$ m/s, woraus sich eine halbe Wellenlänge von $343/880 = 0,39$ m ergibt. Die entsprechende Pfeife muss noch etwas kleiner sein, da sich der Bauch der stehenden Schallwelle $5/3$ Pfeifendurchmesser über dem Pfeifenende befindet (vgl. Abb. 1). Aus diesem Beispiel ist ersichtlich,

dass Orgeln in der Praxis nicht verkleinert werden können.

Theoretisch wäre dies aber trotzdem machbar, indem das Betriebsmedium Luft durch ein Gas bestehend aus schwereren Molekülen ersetzt würde. In Schwefelhexafluorid (SF_6) ist die Schallgeschwindigkeit nur 129 m/s und die halbe Wellenlänge für den Kammerton würde auf 15 cm schrumpfen. Durch den Austausch des Mediums im Hohlraum wäre es also möglich, eine Miniaturorgel zu bauen.

Radio- und Fernsehantennen

Die obigen Überlegungen gelten auch im Zusammenhang mit Sende- oder Empfangsantennen für elektromagnetische Wellen. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit muss nun jedoch die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit $c_0 = 300\,000$ km/s eingesetzt werden. Die bekanntesten Antennen sind, analog wie die Orgelpfeifen, so gross wie die halben Wellenlängen $c_0/2f$.

Für den UKW-Bereich (UKW = Ultra Kurz Welle) um 100 MHz ergeben sich damit typische Dimensionen um 1,5 m. Im UHF-Bereich (UHF = Ultra Hoch Frequenz) mit Frequenzen zwischen 0,3 und 1 GHz betragen die halben Wellenlängen nur noch zwischen 50 und 15 cm, wie die häufig verwendeten Yagi-Antennen zeigen (vgl. Abb. 2).

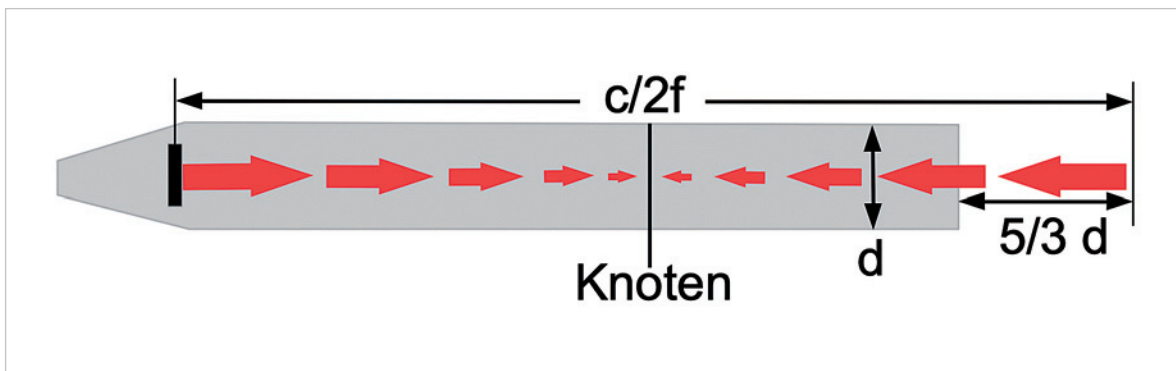


Abb. 1: Skizze der Grundschiwingung des Luft-Geschwindigkeitsfeldes in einer Orgelpfeife. Die roten Pfeile zeigen die maximale Stärke des oszillierenden Feldes. Die Schallrichtung und die Luftbewegungen sind parallel: Es ist eine longitudinale stehende Welle. Die Skizze gilt für den Moment des maximalen Druckes im Knoten. Nach einer halben Periode sind alle Pfeile umgekehrt und der Druck im Knoten ist minimal. (Bild: Fritz Gassmann)

10 FORSCHUNG – PHYSIK IM ALLTAG



Abb-2: Typische Yagi Fernseh-Antenne für den UHF Bereich mit guter Richtwirkung. Die Längen der 22 Antennenstäbe sind auf etwa die halbe Wellenlänge abgestimmt. (Bild: Tennen-Gas, CC BY-SA 3.0)

GPS Patch-Antennen

Für hohe Frequenzen können Hohlraumresonatoren als Antennen verwendet werden. Analog wie am theoretischen Beispiel der mit Schwefelhexafluorid betriebenen Miniorgel erklärt, kann die Dimension eines Hohlraumresonators für elektromagnetische Wellen verkleinert werden, indem man den Hohlraum mit einem gut isolierenden Material mit einer grossen Dielektrizitätskonstanten ϵ füllt.

Allgemein hängt ϵ vom Material, von der Frequenz und der Temperatur ab und liegt meistens unterhalb von 10. Es gibt jedoch wichtige Ausnahmen: Für Wasser liegt sie um 80 und für Bariumtitanat kann sie bis 10 000 erreichen. Es ist demnach verständlich, dass Materialien mit $\epsilon = 121$

hergestellt werden können.

Da sich die Wellen-Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb isolierender Materialien um die Wurzel aus ϵ verringert, schrumpft die halbe Wellenlänge bei 1,5 GHz auf $10 \text{ cm} / 11 = 9 \text{ mm}$.

Abb. 3 zeigt die Patch-Antenne in einem GPS Gerät für den Einsatz im Auto. Sie besteht aus einem quadratischen Silberplättchen mit 9 mm Kantenlänge, das auf einem violetten 3 mm dicken Block eines Materials mit $\epsilon = 121$ geklebt wurde. Dieser Block sitzt auf der Aluminium-Bodenplatte, die Nullpotenzial hat (Minuspole der Batterie). Da der violette Block das Antennenplättchen allseitig überragt, bewegt sich das elektromagnetische Feld im Resonatorraum zwischen Antennenplättchen und Bodenplatte vollständig im violetten

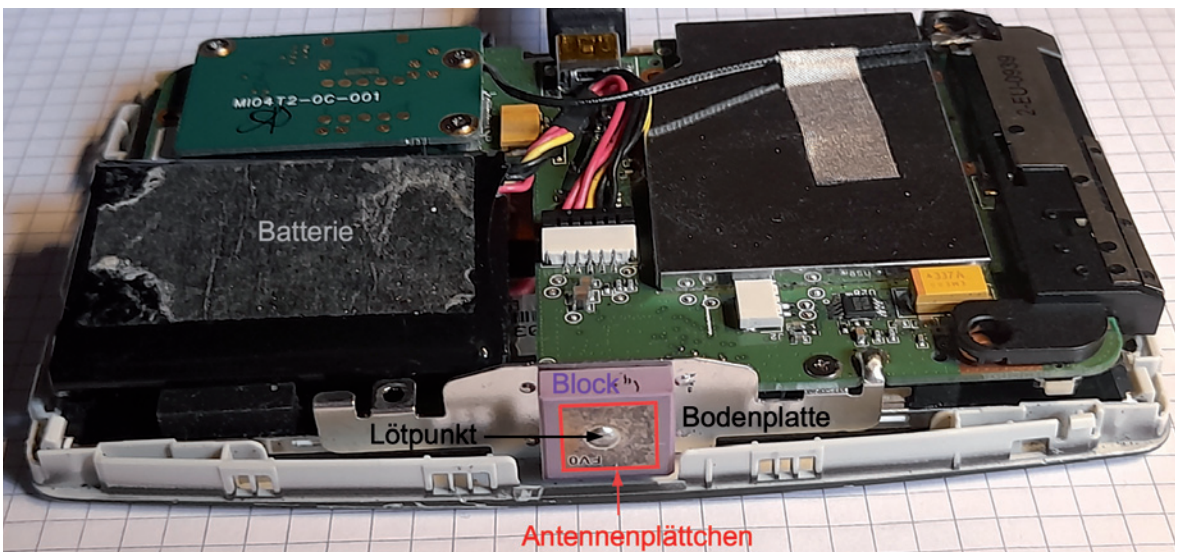


Abb. 3: Innenansicht eines GPS-Gerätes, das auf seiner Touch-Panel Vorderseite auf 4mm-Raster liegt. Das versilberte Antennenplättchen ist teilweise oxidiert. Erklärungen im Text. (Bild: Fritz Gassmann)

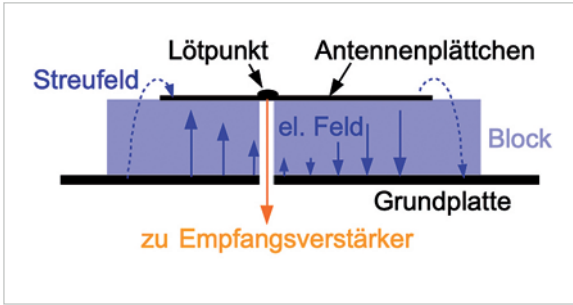


Abb. 4: Skizze der Grundschwingung des elektrischen Feldes im mit Material gefüllten Hohlraum (Block). Die Länge der Pfeile zeigt die maximale Stärke des oszillierenden Feldes. Man vergleiche diese transversale stehende Welle mit der longitudinalen in Abb. 1. (Bild: F. Gassmann)



Abb. 5: WLAN-Erweiterung mit USB-Anschluss für Gerät ohne eingebautes WLAN. (Bild F. Gassmann)

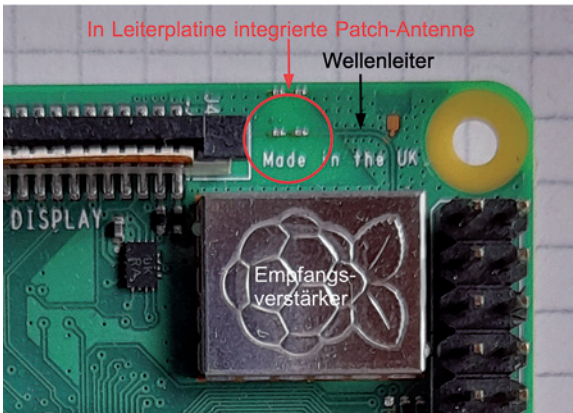


Abb. 6: Im Mini-Einplatinencomputer Raspberry Pi 3 eingebaute WLAN-Antenne. Abgebildet ist eine Ecke der 53 mm x 86 mm grossen Platine auf einem 4 mm Raster liegend, in der sich der Empfangsverstärker befindet. Sichtbar ist auch der Wellenleiter als Verbindung zur Patch-Antenne mit den typischen Lötspunkten nahe des Zentrums der Antenne. Die Antennengeometrie ist aus der Abbildung nicht ersichtlich. (Bild: F. Gassmann)

Material. Die Streufelder an den Rändern erlauben die Ankopplung an die schwachen externen Satellitensignale (vgl. VJS 1|2022, S.8-11).

Für die Grundschwingung, die ähnlich aussieht wie diejenige der Orgelpfeife, hat es auch hier einen Knotenpunkt im Zentrum des Antennenplättchens, wo keine Spannung abgegriffen werden kann (Abb. 4).

Ganz am Rand ist ein Abgriff der Spannung ebenfalls ungünstig, weil dort der Resonator zu stark gedämpft würde. Meist wird deshalb der durch die Lötstelle gut sichtbare Abgriffpunkt bei etwa 40 Prozent der Mittellinie gewählt. Der angelötete Draht ist senkrecht zum Antennenplättchen durch Block und Bodenplatte hindurchgeführt und mit dem Hochfrequenz-Empfangsverstärker verbunden.

WLAN-Antennen

Für die beiden WLAN-Bereiche um 2,5 und 5 GHz werden die benötigten Antennendimensionen mit derselben Technik wie bei GPS-Antennen noch einmal kleiner und erreichen nur noch eine Grösse von wenigen Millimetern. Sie können deshalb problemlos in kleinen Geräten wie Uhren oder WLAN-Anschlüssen an USB-Steckern (vgl. Abb. 5) untergebracht werden.

Teilweise sind die Antennen so gut in die Leiterplatte der Geräte integriert, dass man sie von Auge gar nicht mehr sieht, selbst wenn ihr Ort genau bekannt ist. Abb. 6 zeigt ein typisches Beispiel einer gut versteckten Antenne.

Fritz Gassmann

Viele Fortschritte und ein paar neue Sorgen

Der Gewässerschutz wurde in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich ausgebaut. Der neue Bericht über den Zustand der Gewässer im Kanton Zürich zeigt, dass diese Bemühungen wirken. Doch der Klimawandel gefährdet bisherige Erfolge im Gewässerschutz zunehmend.

Mitte Januar hat die Baudirektion des Kantons Zürich den neuen Gewässerschutzbericht veröffentlicht. Dieser Bericht illustriert, wie sich der Zustand der Gewässer im Kanton Zürich in den letzten Jahren entwickelt hat und welche menschlichen Tätigkeiten die Flüsse und Seen beeinflussen. Gleichzeitig zeigt der Bericht auch auf, in welche Richtung die künftigen Massnahmen gehen müssen, damit der aktuelle Zustand erhalten oder weiter verbessert werden kann.

Wirkungsvoller Ausbau

Ein zunächst positives Bild zeigt sich bei den Fliessgewässern: In den 1980er-Jahren war ein Grossteil der Fliessgewässer im Kanton Zürich noch stark durch Ammonium und Nitrit belastet. Der Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen (ARA), das Verbot von Phosphat in Waschmitteln sowie Massnahmen in der Landwirtschaft führten dazu, dass sich die Nährstoffbelastung in den Flüssen und Bächen seither stark reduziert hat. Dabei konnte die Ammonium-Konzentration in den Fliessgewässern in den

letzten Jahren nochmals deutlich gesenkt werden, und auch beim Nitrit werden nun die Zielvorgaben erstmals vollständig erfüllt. Dazu beigetragen haben auch die milden Winter, wie die Autoren des Berichts schreiben. Die höheren Temperaturen begünstigen die Umwandlung von Nitrit in Nitrat in den Kläranlagen und entlasten so die Gewässer.

Im Gegensatz dazu werden die Zielvorgaben für Nitrat und Phosphat regelmässig überschritten. Insbesondere beim Nitrat geht die Entwicklung in die falsche Richtung, nicht zuletzt auch aufgrund von klimatischen Faktoren: Im Sommer 2018 und 2020 wurde das gereinigte Abwasser in vielen kleinen Bächen aufgrund der geringen Wasserführung ungenügend verdünnt. Gleichzeitig wurde wegen der anhaltenden Trockenheit kaum Stickstoff aus den Böden ausgewaschen. Der überschüssige Stickstoff reicherte sich in den Böden an und gelangte dann in der nächsten Niederschlagsperiode in umso höherer Konzentration in die Gewässer.

Kaum Fortschritte bei Schwermetallen

Bei den Schwermetallen zeigt sich ein durchzogenes Bild. Während die Zielvorgaben für Cadmium und Quecksilber seit 2012 vollständig eingehalten werden, wurden sie bei den Metallen Chrom, Blei und Nickel teilweise nicht erfüllt. Auch die Kupfer- und Zinkbelastung hat sich im Zeitraum 2018-2021 gegenüber der Vorperiode 2012-2017 kaum verändert.

Ein weiterer Aspekt, der in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat, sind Mikroverun-



Gezielte Renaturierungen, so wie hier bei der Sihl beim Hauptbahnhof Zürich, sollen Flüsse als Lebensraum wieder attraktiver machen. (Bild: Paebi, Wikimedia CC-BY-SA-4.0)



Bei vielen Fliessgewässern im Kanton Zürich – so wie hier bei der Glatt in Glattbrugg – dominiert eine eingeschränkte Fauna und Flora. Dies hängt auch damit zusammen, dass vielerorts die Gewässersohle oder die Ufer verbaut wurden. (Bild: Roland Fischer / Wikimedia CC-BY-SA-3.0)

reinigungen. Seit 2015 sammelt der Kanton an 15 Messstellen regelmässig Proben, um die Belastung der Fliessgewässer durch Mikroverunreinigungen zu überwachen. Die Daten zeigen, dass die Belastung seither insgesamt zurückgegangen ist. Allerdings führen Spuren des Arzneimittels Diclofenac offenbar immer wieder dazu, dass die Zielwerte überschritten werden.

Abnahme der Mikroverunreinigungen

Da Spuren von Arzneimitteln hauptsächlich über die Kläranlagen in die Gewässer gelangen, sind vor allem Gewässer mit einem hohem Abwasseranteil davon betroffen. Am Beispiel der Limmat zeigt sich, dass Gegenmassnahmen wirksam sind. Nachdem die ARA Werdhölzli, in der das Abwasser der Stadt Zürich gereinigt wird, mit einer zusätzlichen Stufe ausgerüstet wurde, nahm die Belastung durch Mikroverunreinigungen an der Messstelle Dietikon deutlich ab. Insgesamt zeigen die Daten, dass die Fracht an Mikroverunreinigungen, die den Kanton Zürich verlässt, in den letzten Jahren im Mittel um etwa die Hälfte reduziert werden konnte.

Ebenfalls abgenommen hat die Belastung durch Pestizide aus der Landwirtschaft. Diese erfreuliche Tatsache führen die Autoren des Berichts auf die Massnahmen zurück, die im Aktionsplan Pflanzenschutzmittel vorgeschlagen wurden.

Seit 2018 überwacht der Kanton Zürich auch kleinere Fliessgewässer mit mobilen Stationen auf

Mikroverunreinigungen. Dabei zeigt sich, dass auch Fliessgewässer, die kein gereinigtes Abwasser mit sich führen, durch Mikroverunreinigungen aus Haushalten und Industrie belastet sein können.

Eintönige Fauna und Flora

In Bezug auf die biologische Lebenswelt in den Fliessgewässern kommt der Bericht zu einem durchgezogenen Fazit. Bei etwa der Hälfte der untersuchten Abschnitte zeigt sich, dass die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft nicht typisch für den Standort ist oder eine eingeschränkte Vielfalt aufweist. Dies liegt daran, dass bei vielen Gewässern der natürliche Lebensraum der Wasserpflanzen durch den Verbau der Sohle und der Ufer beeinträchtigt ist.

Bei den Kleintieren (Makrozoobenthos) hat sich der Zustand seit 1995 hingegen kontinuierlich verbessert. Dafür verantwortlich sind jedoch vor allem anspruchslose, weit verbreitete Arten, so wie dies bei vielen anderen Gewässern im Mittelland auch beobachtet werden kann.

Sorgen bereiten den Fachleuten die Fische in den Fliessgewässern. In den letzten Jahren ist eine generelle Verschlechterung festzustellen, die sich auch in rückläufigen Fangerträgen widerspiegelt. Eine Reihe von Faktoren führen dazu: Die Lebensräume der Fische sind aufgrund von Verbauungen und Fragmentierungen gestört, so dass es den Tieren zunehmend schwer fällt, geeignete Laichplätze zu finden. Auch die Infektionskrankheit PKD,



Auch beim Greifensee – hier bei Nideruster mit Pfannenstiel im Hintergrund – ist die Sauerstoffkonzentration in der Tiefe nach wie vor weit von den natürlichen Verhältnissen entfernt. (Bild: Roland Fischer / Wikimedia CC-BY-SA-3.0)

welche die Nieren der Forellen zerstört, ist ein Faktor, der sich ungünstig auswirkt. Schliesslich macht auch der Klimawandel den Fischen in den Flüssen zunehmend zu schaffen. Heisse und trockene Wetterphasen im Sommer schränken den Lebensraum ein und führen zu Hitzestress, der die Tiere anfälliger für Krankheiten und Parasiten macht. Im Winter wiederum führt das warme Wetter zu stärkeren Niederschlägen und ungewöhnlichen Hochwasserereignissen, die den im Kiesbett liegenden Laich der Forellen zerstören können.

Schlüsselfaktor Phosphor

Bei den Seen ist vor allem das Phosphor der entscheidende Faktor für die Wasserqualität. Als wachstumslimitierender Nährstoff bestimmt Phosphor, wieviele Algen im See wachsen können und damit auch wie viel Sauerstoff zur Verfügung steht. Phosphor gelangt über gereinigtes Abwasser, Entlastungen bei Regenwetter und die Abschwemmung von Böden in die Seen.

In den letzten Jahrzehnten wurden grosse Anstrengungen unternommen, um die Phosphorbelastung in den Seen zu reduzieren – mit Erfolg. Die Phosphorkonzentration in den Seen hat seit Beginn der 1970er-Jahre stark abgenommen. In den letzten 20 Jahren verzeichnen die Messstationen allerdings nur noch eine geringe Abnahme, teilweise sogar wieder einen Anstieg. Dies führen die Autoren des Berichts auf den steigenden Nutzungsdruck und die zunehmende Bevölkerung zurück.

Beim Türl-, Pfäffiker- und Zürichsee werden die Zielvorgaben seit 1999 mit wenigen Ausnahmen immer erreicht. Beim Hüttner- und Greifensee sanken die Phosphorkonzentrationen in den letzten Jahren ebenfalls deutlich; sie sind aber nach wie vor zu hoch und genügen den Anforderungen nicht. Auch bei den Kleinseen – Katzen-, Lützel- und Egelsee – haben sich die Phosphorkonzentrationen noch nicht auf einem genügend tiefen Niveau stabilisiert.

Klima wirkt sich ungünstig aus

Die Klimaveränderung führt dazu, dass die Phosphorkonzentration bei allen grossen Seen zwischen durch sogar wieder anstieg. So führt in warmen Wintern die schlechtere Durchmischung der Wasserschichten zu einer stärkeren Rücklösung von Phosphor aus den Sedimenten. Auch ausserordentlich hohe Niederschlagsmengen können zu höheren Phosphoreinträgen in die Seen führen, weil mehr Wasser aus der Kanalisation abgeschwemmt wird.

Als Folge der insgesamt reduzierten Phosphorbelastung ist die Algenmenge in allen grossen Seen – ausser im Zürich- und Hüttnersee – bis Mitte der Neunzigerjahre stark zurückgegangen. Seither nimmt die Algenmenge jedoch nur noch langsam ab oder stagniert sogar.

Obwohl die Algenmenge abgenommen hat, bleibt das Tiefenwasser in den meisten Seen während mehrerer Monate ohne Sauerstoff. Der Abbau der jährlich neu gebildeten Algen sowie der abgelagerten



Der Zürichsee (hier an einem Wintertag mit Blick auf die Berge) entwickelt sich zunehmend zum Sorgenkind. Die Klimaerwärmung führt dazu, dass sich die Wasserschichten im Winter nicht mehr wie gewohnt durchmischen. Dies kommt insbesondere der unerwünschten Burgunderblutalge zugut. (Bild: albinfo / Wikimedia CC-BY-SA-3.0)

Tiere und Pflanzen aus früheren Jahrzehnten ist für diesen Umstand verantwortlich. In den meisten Seen liegt die Sauerstoffkonzentration deshalb heute noch weit unter den natürlichen Verhältnissen. Aus diesem Grund werden die Anlagen zur Belüftung im Hüttner- und Greifensee vorläufig noch weiter betrieben.

Starker Temperaturanstieg im Herbst

Beim Zürichsee ist an der Oberfläche ein markanter Anstieg der Wassertemperatur festzustellen. Die deutlichste Erwärmung wird im Herbst gemessen. Im Mittel nehmen die Temperaturen im Oktober alle 10 Jahre um 0,5 °C zu. Über die 80-jährige Messperiode hinweg ist die Temperatur also um 4 °C angestiegen. Das ist für Wassersportlerinnen und Wassersportler zwar verlockend, für die Ökologie des Zürichsees jedoch zunehmend ein Problem.

In früheren Jahrzehnten hat sich im Winter – bei ausgeglichener Temperatur von der Oberfläche bis zum Seegrund – das Wasser gut durchmischt. Diese wichtige Phase hat in den letzten Jahren wegen der erhöhten Wassertemperatur an der Oberfläche nur noch verkürzt oder bis in geringere Tiefe reichend stattgefunden.

Die Folge davon: Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser verschlechtern sich, gleichzeitig reichert sich dort das Phosphat an, das dann im Frühjahr den Algen an der Oberfläche nicht zur Verfügung steht. Die unerwünschte Burgunderblutalge, die keine Alge

ist, sondern ein Cyanobakterium, das Toxine absondert und daher problematisch ist, profitiert hingegen von dieser Entwicklung. Sie kann sich unter diesen Bedingungen viel besser ausbreiten.

Felix Würsten

Der vorliegende Artikel basiert auf der Kurzfassung des Berichts «Wasser und Gewässer 2022» des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich.

Der vollständige Bericht sowie die Kurzfassung finden sich hier: www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/gewaesser-qualitaet.html



Das Leben und wie man es macht

In Winter 1951 verfolgt ein Chemiestudent an der Universität von Chicago gespannt den Vortrag eines Nobelpreisträgers. Dieser präsentiert seine Ideen über die atmosphärischen Bedingungen auf der noch jungen Erde, wie sie am Ursprung des Lebens geherrscht haben müssen – Gewitterblitze, Wasser und die Gase Methan, Ammoniak und Wasserstoff. Einhalb Jahre nach diesem offenbar sehr anregenden Vortrag schlägt derselbe, in der Zwischenzeit diplomierter Student ebendiesem Professor ein wahnwitziges Experiment vor: «Lassen Sie mich die Uratmosphäre, wie Sie sie vorschlagen, im Labor nachbauen und schauen, was passiert.» Der Professor hieß Harold Urey, der Doktorand Stanley Miller – und der Rest ist Geschichte.

Der Ursprung des Lebens

Leben zu verstehen, ist eine der Hauptmotivationen, Naturwissenschaft zu betreiben. Fällt die Entstehung

eines Organismus aus einer Eizelle in das Gebiet der Entwicklungsbiologie oder die Entstehung einer neuen Art in das Gebiet der Evolutionsbiologie, kommt der Ursprung des Lebens an sich – also die Entstehung einer ersten Entität, welche sich repliziert und evolutiven Prozessen unterworfen ist – in das Gebiet der Chemie zu liegen. Und so ist sie es denn auch, die im vorliegend besprochenen Experiment die Hauptrolle spielt.

Der Physiker Richard Feynman hat einst treffend formuliert, was als das Motto der ganzen chemischen Zunft gelten könnte: «*What I cannot create, I do not understand.*» Denn in keiner Wissenschaft ist dieser Gedanke so inhärent, wie in der Chemie, wo wir oft unseren eigenen Forschungsgegenstand kreieren, um ihn zu untersuchen und zu verstehen.

Die Erforschung der molekularen Basis des Lebens – also von Stoffwechsel, Energiehaushalt, Homöostase, Wachstum und Replikation eines

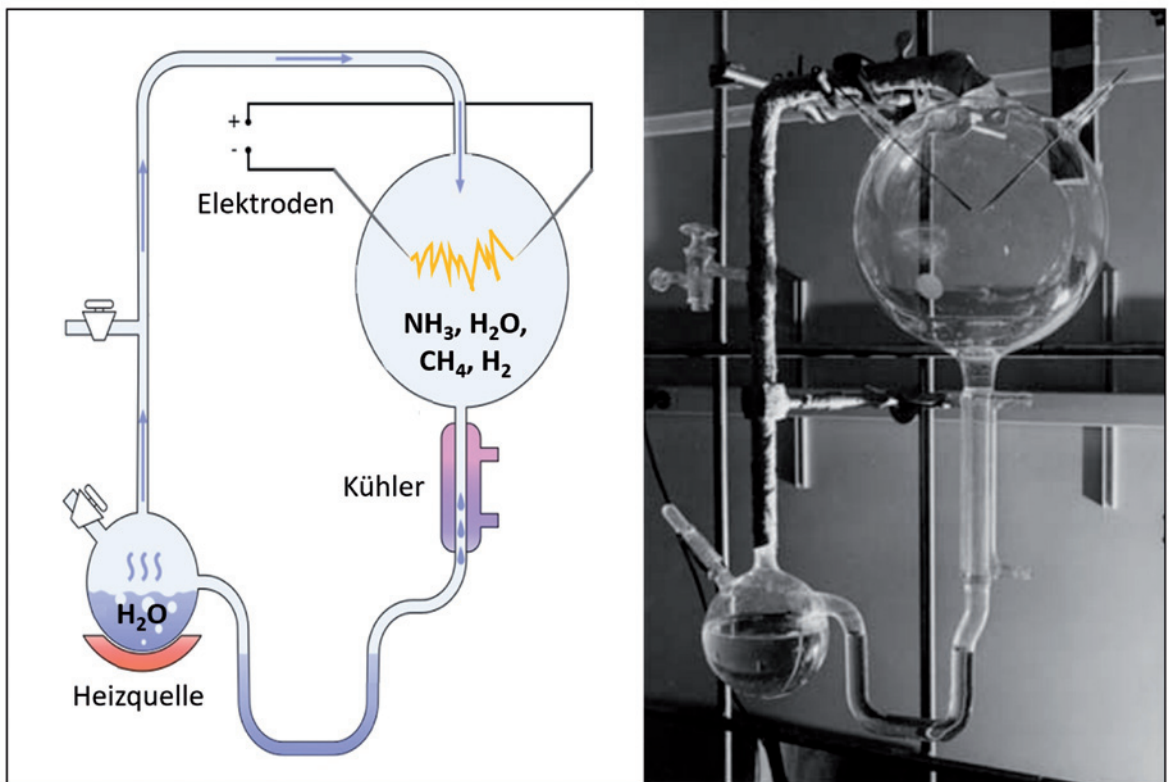


Abb. 1: Aufbau des Miller-Urey Experiments. Links: Schematische Darstellung. Der Wasserdampf gelangt mit der Gasmischung aus Ammoniak, Methan und Wasserstoff in den Reaktionskolben, in welchem Blitze mittels elektrischer Entladung zwischen zwei Elektroden simuliert werden. Rechts: Photo der originalen Vorrichtung. (Schema angepasst nach einer public domain Bildvorlage von Carny, CC BY-SA 3.0; Photo aus der Doktorarbeit von S.L. Miller, 1954, Universität Chicago)

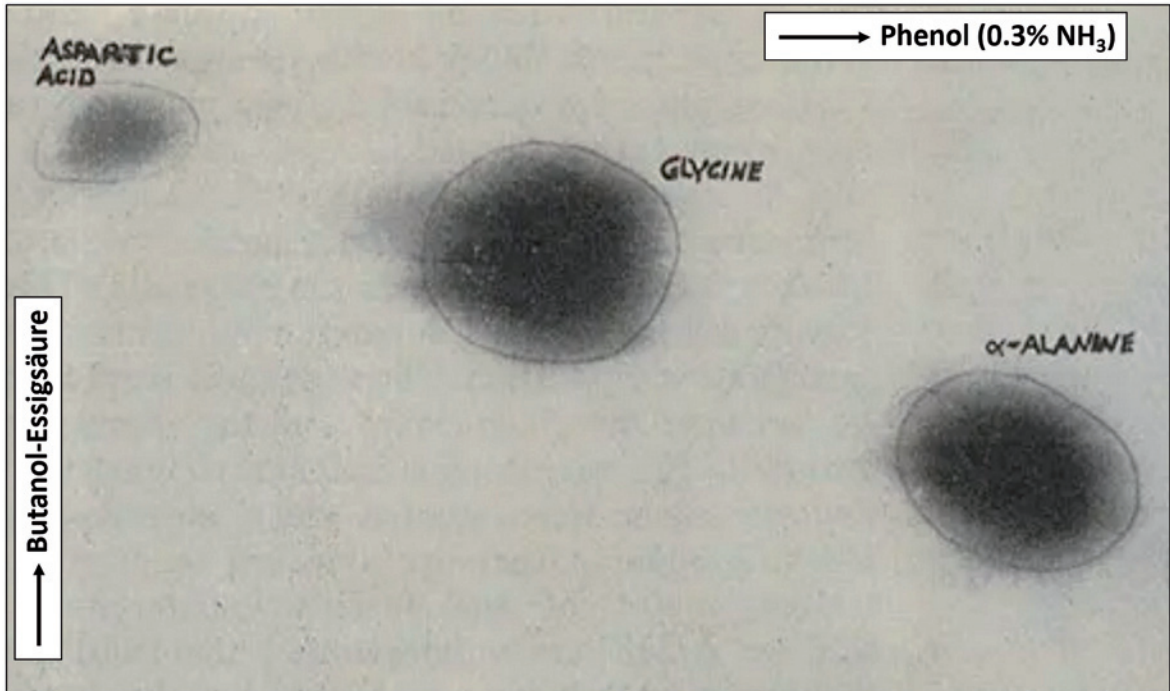


Abb. 2: Ausschnitt aus Papierchromatogramm aus dem originalen Miller-Urey Experiment. Mit Millers Handschrift markiert sind die Spots der Aminosäuren (v.l.n.r.) Asparaginsäure, Glycin und Alanin (Bild aus A. Lazcano und J. Bada, *Orig. Life. Evol. Biosph.*, 2003, 33, 235).

lebenden Organismus – hat ein einschüchternd komplexes, fein abgestimmtes Wechselspiel einer Unzahl chemischer Mitspieler zum Vorschein gebracht. Letzteres nur schon zu untersuchen – von einem Nachbau im Labor mal ganz zu schweigen – war und ist ein die menschliche Vorstellungskraft strapazierendes Mammutvorhaben. Wo soll man beginnen? Und wenn wir uns über Abiogenese und den Ursprung des Lebens Gedanken machen: Wie sah der erste Replikator aus? Wie die erste Zelle? Wie gross muss die einfachste Kombination molekularer Stoffe und Wechselwirkungen sein, die eine für Leben ausreichende Komplexität hervorbringen kann? Welche Stoffe und welche Bedingungen braucht es (oder brauchte es damals vor ca. 4 Mrd. Jahren), damit ein sich replizierendes «Anfangsetwas» entstehen kann?

Das Miller-Urey-Experiment

Der experimentelle Aufbau ist schnell erklärt: Die Umweltbedingungen auf der jungen Erde werden nachgebildet, indem Wasserdampf und die besagten Gase Ammoniak, Methan und Wasserstoff in einem Glaskolben mit zwei Elektroden zusammenkommen, zwischen welchen aufgrund einer angelegten Spannung elektrische Entladungen passieren (Abb. 1). Der

Wasserdampf entsteht dabei in einem zweiten Kolben durch Erhitzen von Wasser, was eine vereinfachte Version des frühirdischen Wasserkreislaufs simuliert: Aus dem Urmeer verdunstet Wasser und steigt in die Uratmosphäre auf, wo die atmosphärischen Gase durch Blitze in hochreaktive freie Radikale gespalten werden und miteinander reagieren können.

Das atmosphärische Wasser kondensiert und transportiert die Reaktionsprodukte in Form von Regen ins Urmeer zurück. Das re-kondensierte Wasser – also das simulierte Urmeer – wird dann regelmässig auf die Anwesenheit von organischen Molekülen untersucht.

Überraschend für alle Beteiligten war nicht nur, dass sich überhaupt irgendwelche interessanten organischen Verbindungen formten, sondern dass sich die ersten Aminosäuren bereits innert einer Woche gebildet hatten. Das übertraf selbst die kühnsten Erwartungen dieses ohnehin schon überaus wagemutigen Unternehmens. Zusammen mit weiteren Durchführungen des Experiments war Miller mittels Papierchromatographie (Abb. 2) imstande, neben weiteren organischen Verbindungen wie Milchsäure oder Hydroxybuttersäure die spontane Bildung der vier Aminosäuren Glycin, Alanin, Asparaginsäure und Glutaminsäure nachzuweisen.

18 FORSCHUNG – DAS EXPERIMENT

Kurz vor seinem Tod im Jahr 2007 übergab Miller das Originalequipment inklusive einiger Kisten mit alten Proben seinem Studenten Jeffrey Bada. Dieser analysierte Millers Originalproben mit den neuesten Analysemethoden und es zeigte sich, dass im ursprünglichen Experiment weit mehr organische Verbindungen entstanden waren, als Miller mit den damaligen Methoden nachzuweisen imstande war – was Aminosäuren angeht, waren es 11 der 20 heute essentiellen Aminosäuren.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Durchführung und Interpretation des Miller-Urey-Experiments immer wieder energisch diskutiert. Vor zwei Jahren wies Joaquin Criado-Reyes, ein weiterer Student Millers, nach, dass sich das in der Apparatur benutzte Borosilikatglas partiell in der Reaktionsmischung löst und als Katalysator bei der Aminosäuresynthese dient. Dies mindert aber nicht die Bedeutung des originalen Experiments, sondern verfeinert vielmehr unser Wissen über die präbiotischen Bedingungen auf der Erde. Es herrschten reduzierende Bedingungen und elektrische Stürme über einem Urmeer auf silikatreichem Gestein.

Origin of Life-Forschung

Vor dem Miller-Urey-Experiment war der Ursprung des Lebens ein schöngestiges Gesprächsthema beim Nachmittagstee akademischer Koryphäen. Danach war es ein neues experimentelles Wissenschaftsfeld. In den siebzig Jahren, die seither vergangen sind, wurde eine Vielzahl experimentell gestützter Einsichten gewonnen, welche ein grundsätzliches Erfassen des Ursprungs des Lebens auf der Erde in greifbare Nähe rücken.

So konnte unter verfeinerten präbiotischen Bedingungen zum Beispiel das spontane Entstehen von Molekülen aus allen für das Leben essentiellen Stoffklassen (Zucker, Aminosäuren, Nucleobasen, Fettsäuren, etc.) nachgewiesen werden. Auch das Phänomen der einseitigen Chiralität von Leben wurde und wird eingehend und mit beeindruckenden Ergebnissen erforscht. Es wurde eine erstaunliche Vielfalt an Molekülen synthetisiert, welche auch unter präbiotisch plausiblen Bedingungen imstande sind, ihre eigene Replikation zu katalysieren.

Ein weiteres Teilgebiet erforscht schliesslich, was die kleinste Zahl an Faktoren für ein chemisches System ist, damit sich aus letzterem eine für Leben

ausreichende Komplexität ergeben kann und wie sich diese Faktoren in Protozellen unter präbiotischen Bedingungen zusammenfinden können.

Epilog

Die Schönheit am Miller-Urey-Experiment liegt in seiner Einfachheit und seiner fast schon unerschämten Kühnheit. Es ist erfüllt von der unvoreingenommenen Vorstellungskraft und Experimentierfreudigkeit eines jungen Forschergeistes. Nach rational-wissenschaftlicher Einschätzung bestand keinerlei Anlass, ein verwertbares experimentelles Resultat aus so einem unausgegorenen «Wir versuchen's mal»-Unterfangen zu erwarten.

Einem wissenschaftlichen Experiment geht eine präzise formulierte Hypothese mit klar definierten Erwartungen voraus, welche besagte Hypothese zu untermauern, beziehungsweise zu widerlegen imstande sind. Im vorliegenden Experiment stand nicht einmal die zugrundeliegende Annahme der präbiotischen Zusammensetzung der Atmosphäre auf einem soliden Fundament. Und dennoch hatten sich in weniger als einer Woche aus einfachsten Verbindungen und unter primitivsten Bedingungen spontan Aminosäuren gebildet.

Das Miller-Urey-Experiment soll jedem und jeder jungen Forscher:in Inspiration sein, den Mut zu haben, gross zu denken.

Sie sagen: «Du träumst zu gross.» – Ich sage: «Ihr denkt zu klein.»

René M. Oetterli

Der Autor ist Chemielehrer am MNG Rämibühl und Fachverantwortlicher Chemie am ScienceLab der Universität Zürich. Darüber hinaus erforscht er am Chemiedepartement der Universität Zürich historische und neue Farbpigmente.

Leseempfehlungen

Marshall M. 2020. *The Genesis Quest*. University of Chicago Press: Chicago. (Ein angenehm zu lesender Überblick über Geschichte und aktuellen Stand der Origin-of-Life-Forschung)

Miller S.L. 1953. *A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions*. *Science*, 117, 528. DOI: 10.1126/science.117.3046.52 (Die zweiseitige Originalpublikation des Miller-Urey-Experiments ist ein Musterbeispiel dafür, dass gerade Artikel von bahnbrechenden Forschungsergebnissen oft kurz und bescheiden daherkommen.)

Ausschreibung zur 5. Preisvergabe 2024

Der Oswald Heer-Preis wird seit 2016 alle zwei Jahre verliehen, 2024 also zum fünften Mal. Er soll an den grossen Glarner Paläontologen, Botaniker und Entomologen und an die Gründerpersönlichkeit Oswald Heer (1809–1883) erinnern. Mit dem Preis werden hervorragende Arbeiten von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ausgezeichnet, die in der Schweiz tätig sind und in den Forschungsgebieten Oswald Heers arbeiten.

Federführend für die Preisvergabe ist gegenwärtig die Schweizerische Paläontologische Gesellschaft. Daneben wird der Oswald Heer-Preis auch von der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Glarus, dem Historischen Verein des Kantons Glarus, der NGZH, der SCNAT, der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft, der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft sowie der Schweizerischen Gesellschaft für die Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften mitgetragen. Delegierte dieser Gesellschaften bilden das Preiskomitee.

Der Oswald Heer-Preis wird für hervorragende Arbeiten vergeben, die maximal zwei Jahre vor dem Jahr der Preisausschreibung publiziert wurden. Zum Zeitpunkt der Bewerbung dürfen die Kandidatinnen bzw. Kandidaten maximal 35 Jahre alt sein. In Anbetracht der Herkunft Oswald Heers sind wissenschaftliche Arbeiten von Glarnerinnen und Glarnern sowie Arbeiten über einen Forschungsgegenstand aus dem Glarnerland unter Berücksichtigung der für alle Bewerbungen gleich geltenden wissenschaftlichen Qualitätskriterien bei der Preisvergabe vorzuziehen.

Die auszeichnenden Fachgebiete umfassen Paläontologie (insbes. Paläobotanik), Flora der Alpen (insbes. der Schweiz), Evolutionsbiologie der Pflanzen und Tiere sowie die Wissenschaftsgeschichte der oben erwähnten Fachgebiete mit Bezug zur Schweiz. Die Preissumme beträgt ca. CHF 2000 und wird jeweils vom Preiskomitee festgelegt. Das Preisgeld wird vom Walters-/Wild-Fonds und weiteren Sponsoren gestiftet.

Bewerbungen mit einem kurzen Lebenslauf und Publikationsverzeichnis der letzten



Jugendportrait von Oswald Heer (1809-1883) von ca. 1835 als Konservator der Insekten-sammlung und Hauslehrer für Naturkunde bei Heinrich Escher-Zollikofer (1776-1853) im Belvoir-Gut in Enge bei Zürich. Aquarell, Clementine Stockar-Escher zugeschrieben. Landesarchiv des Kantons Glarus.

fünf Jahre und der zu bewertenden Arbeit sind in digitaler Form an Prof. Christian Klug (chklug@pim.uzh.ch) von der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft zu senden. Die Unterlagen sind bis Ende August 2023 einzureichen.

Bitte informieren Sie Ihre Kolleginnen und Kollegen, Studierende, Promovierende und andere potenzielle Kandidatinnen und Kandidaten über den Oswald Heer-Preis. Weiterführende Informationen erhalten Sie von Christian Klug oder von Prof. em. Conradin A. Burga (conradin.burga@bluewin.ch).

Conradin A. Burga

Alle Online-Vorträge auf der Webseite

Die NGZH blickt auf eine abwechslungsreiche und anregende Vortragsreihe zurück. Dabei zeigt sich, dass insbesondere die Online-Vorträge eine erfreulich hohe Reichweite erzielen. Ein grosser Vorteil ist, dass diese Vorträge von den Interessierten dann gesehen werden können, wenn es ihnen zeitlich passt. Auch jetzt noch können alle Vorträge des letzten Herbstes (und übrigens auch der Saison 2022/23) nochmals angeschaut werden. Alle Beiträge finden sich auf der NGZH-Homepage unter www.ngzh.ch/publikationen/vortrage

Übrigens: Möchten Sie informiert werden, wenn ein neuer Vortrag aufgeschaltet wird? Dann schicken Sie Ihre Mail-Adresse an sekretariat@ngzh.ch. Wir tragen Sie gerne auf unsere Verteilerliste ein.

Online Vorträge zum Nachsehen

Die folgenden Vorträge können auf unserer Homepage unter «Publikationen/Vorträge» nachgehört werden:

Nanomaterialien für moderne Lichtquellen
Prof. Dr. Rachel Grange, Institut für
Quantenelektronik, ETH Zürich
Dauer: 46 Minuten

Nichtlineare und elektrooptische Geräte sind in unserem täglichen Leben mit vielen Anwendungen vertreten. Rachel Grange stellt in ihrem Vortrag verschiedene Strategien zur Verbesserung optischer Signale durch Nanometalloxide und ein integriertes Breitbandspektrometer für Weltraumanwendungen vor.

Was Meteorite uns über die Entstehung der Planeten verraten
Prof. Dr. Maria Schönbächler, Institut für
Geochemie und Petrologie, ETH Zürich
Dauer: 54 Minuten

Dieser Vortrag gibt eine kurze Einführung in die Meteoritenkunde und stellt neue Forschungsergebnisse vor, die uns die Entstehung der Planeten inklusive der Erde besser verstehen lassen.

Zeit in der Physik
Dr. Fritz Gassmann, Präsident NGZH
Dauer: 59 Minuten

In der Physik gehört Zeit wie auch Raum, Energie und Masse zu den grundlegenden Grössen, die nicht zufriedenstellend weiter erklärt werden können. In diesem Vortrag wird das Wesen der Zeit beleuchtet, ohne die endgültige Frage «was ist Zeit» beantworten zu wollen.

Supramolekulare Chemie – Wenn aus Molekülen Maschinen werden
Dr. René Oetterli, MNG Rämibühl und
Science Lab der Universität Zürich
Dauer: 53 Minuten

Die Supramolekulare Chemie beschäftigt sich mit der Assoziation von Molekülen zu übergeordneten Strukturen. Durch die Verbindung mehrerer Moleküle zu einem grösseren supramolekularen System kann inzwischen eine ganze Reihe molekularer Maschinen unterschiedlichster Ausprägung konstruiert werden.

Die Schrödinger-Gleichung – Schlüssel in eine neue Welt
Dr. Fritz Gassmann, Präsident NGZH
Dauer: 61 Minuten

Im Vortrag werden die Probleme der Physik der 1920er-Jahre sowie die Geburt der berühmten Schrödinger-Gleichung in Zürich und Arosa beleuchtet. Anschliessend werden drei wichtige Folgen dieser «Bewegungsgleichung der Atome» vorgestellt, die unsere heutige Welt geprägt haben.

Über den Begriff der Schönheit in den Naturwissenschaften
Dr. René Oetterli, MNG Rämibühl und
Science Lab der Universität Zürich
Dauer: 55 Minuten

Dieser Vortrag beleuchtet, welche Bedeutung der Begriff Schönheit in den Naturwissenschaften hat und wie die Suche nach Schönheit Forschende dazu anregen kann, nach eleganteren und einfacheren Lösungen zu suchen.

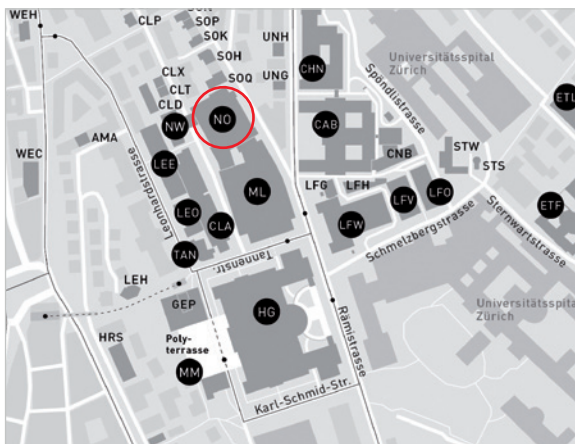
Eine Zeitreise zu geologischen Leckerbissen des Kantons Zürich

Das Neujahrsblatt 2023 der NGZH widmet sich ganz der Geologie des Kantons Zürich und stellt in einer Reihe von lesenswerten kurzen Beiträgen geologisch interessante Stellen und Objekte im ganzen Kanton vor.

Wer sich nun noch etwas vertiefter mit der Materie befassen möchte, der erhält Ende März eine einmalige Gelegenheit, die Geologie des Kantons Zürich besser kennen zu lernen: Der Herausgeber des Neujahrsblattes Thomas Bolliger und der Konservator der Geologisch-Paläontologischen Sammlung Iwan Stössel laden alle Interessierten zu einer öffentlichen Führung ein und zeigen in einem Rundgang die reichhaltigen, unterirdischen Bestände der Geologisch-Paläontologischen Sammlung an der ETH Zürich. Die Besucherinnen und Besucher kommen dabei in den Genuss, Objekte zu sehen, die der Öffentlichkeit normalerweise nicht zugänglich sind!

Freitag, 24.03.2023, 19:00–20:30 Uhr
Besammlung beim Eingang zum Ausstellungs-
bereich «focusTerra» an der Sonnegg-
strasse 5, ETH-ZentrumNO-Gebäude) (s.
Karte) (Bild: ETH Zürich)

Um Anmeldung wird gebeten unter:
sekretariat@ngzh.ch



In der Geologisch-Paläontologischen Sammlung der ETH Zürich lagern eine Vielzahl von Trouvaillen, die üblicherweise nicht zu sehen sind. Die öffentliche Führung am 24. März bietet nun die Gelegenheit, einige dieser Kostbarkeiten zu sehen. (Bilder: T. Bolliger)

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

Herausgeber

Naturforschende Gesellschaft in Zürich NGZH

NGZH-Vorstand

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

Redaktionskomitee

Fritz Gassmann
Martin Schwyzer

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:



Ausstellungen

focusTerra

Reisesteine

Werden Sie auch immer wieder von Reiselust gepackt und der Sehnsucht, in die Welt hinauszuziehen? Reisen Sie mit Ihren Steinen ans Ende der Welt oder in Ihren Vorgarten. Die interaktive Online-Ausstellung «Reisesteine» ist eine virtuelle Sammlung Ihrer Lieblingssteine von irgendwo auf der Welt und Ihrer Geschichte, die Sie damit verbinden. Entdecken Sie in der Ausstellung mehr über unsere gemeinsam erstellte Steinsammlung, ihre Fundorte und lernen Sie die damit verbundenen persönlichen und geologischen Geschichten kennen.

<https://reisesteine.ethz.ch/>

bis 16. Juli 2023

Kulturama, Museum des Menschen

Englischviertelstrasse 9, Zürich

Erde am Limit

Eine interaktive Ausstellung über den Zustand der Erde, die den Einfluss des Menschen auf den Planeten verständlich, anschaulich und sowohl auf ernste wie auch spielerische Art erklärt.

Die Erde ist ein besonderer Planet: Auf ihr ist Leben entstanden. Über Jahrtausende hinweg existierte der Mensch, ohne tiefgreifende Spuren in der Umwelt zu hinterlassen. Doch mittlerweile setzt der stetig wachsende Bedarf an Platz und natürlichen Ressourcen die Ökosysteme global unter Druck.

Die Sonderausstellung ERDE AM

LIMIT verdeutlicht die Rolle des Menschen in der Natur und fragt: Wie steht es um unseren Planeten? Welche natürlichen Prozesse treiben das Leben an? Welche Konsequenzen hat unser Tun langfristig und wie können wir die Zukunft anders gestalten?

Weitere Informationen: erdeamlimit.ch

Science Pavilion UZH

Campus Irchel, Winterthurerstr. 190, Zürich

Supraleiter

Sie wollen wissen, wie man Materialien zum Schweben bringt? Wie sich elektrischer Strom verlustfrei leiten lässt? Wie ein Maglev-Hochgeschwindigkeitszug schweben kann? Oder was Blei, Aluminium und Quecksilber bei tiefen Temperaturen gemeinsam haben?

Hinter all dem steckt die Supraleitung, ein quantenmechanischen Phänomen, das nur bei extrem tiefen Temperaturen auftritt. Vielleicht fragen Sie sich, ob es einmal Materialien geben wird, die auch bei Normalbedingungen supraleitend sind? Gut zu wissen und in dieser Ausstellung faszinierend hautnah zu erleben: Die Forschenden der UZH teilen Ihre Neugierde, denn um diese und weitere höchst spannenden Fragen dreht sich ihr halbes Leben – 1987 gar gekrönt mit dem Nobelpreis für Physik

www.sciencepavilion.uzh.ch/de/Sehen/aktuelle-ausstellungen/Supraleiter.html

Weitere Daten von Veranstaltungen werden laufend in unserer Agenda auf www.ngzh.ch veröffentlicht.

