

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor 150 Jahren, am 6. Mai 1859, verstarb im 90. Lebensjahr in Berlin der Universalgelehrte, Forschungsreisende, Diplomat und Wissenschaftspublizist Alexander von Humboldt. Die Astronomie, insbesondere die Berliner, verdankt ihm viel. Seinem Einfluss bei Hofe ist zuzuschreiben, dass die Berliner in den Genuss einer sehenswerten Sternwarte kamen, jeder Berliner: Die Sternwarte hatte an zwei Abenden in der Woche fürs Publikum geöffnet zu sein! So hatte es Freiherr von Humboldt verfügt gehabt. Die Popularisierung der Wissenschaften lag ihm sehr am Herzen. Seine „Kosmosvorlesungen“ in der Berliner Singakademie sind Legende und waren ein Muss für jeden, der auf sich hielt. Der König gar ließ sich blicken – und auffallend viel weibliches Publikum. Events gibts nicht erst seit heute. Sein fünfbandiger „Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung“, wurde ein Bestseller im besten Sinne des Wortes.

Ausnahmepersönlichkeiten, wie Humboldt, Pendler zwischen den Welten, die sich überall gleichermaßen sicher zu bewegen wissen, in höfischer Enge wie in den Weiten der Wildnis, sind immer – die Ausnahme.

Vor 90 Jahren begründete eine englische Sonnenfinsternisexpedition nach Principe den Weltruhm eines Ausnahmephysikers. Die historische Finsternis ereignete sich am 29. Mai 1919. Es gelang dem Expeditionsleiter Sir Arthur Eddington, die von Albert Einstein vorhergesagte Lichtablenkung (das Doppelte des Newtonschen Wertes) am Sonnenrand nachzuweisen. Der Raum ist wirklich gekrümmt in der Nähe einer großen Masse!

Und was wird der Mai uns an Neuem bringen? Hoffentlich gleich zwei Welt-raumteleskope! Starttermin ist nunmehr der 6. Mai. Die Rede ist von „Herschel“ und „Planck“. Beide werden mit einer Rakete in den Weltenraum geschossen. Ziel ist L_2 , der zweite Lagrange- oder Librationspunkt im Sonne-Erde-System. Es wird in vier Monaten erreicht sein. Den Weg dorthin weist der Erdschatten. Dort, 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, dauert ein Umlauf um die Sonne – ungeachtet des größeren Abstandes von ihr – genau ein Jahr. Die Observatorien, obwohl im interplanetaren Raum, bleiben bei der Erde, wenn auch auf Distanz. Allerdings muss gelegentlich der Kurs

korrigiert werden. Himmelsmechanisch sind nämlich drei der fünf Lagrangepunkte im Sonne-Erde-System instabil. L_2 gehört leider dazu.

Was die dort sollen? Den Himmel vermessen natürlich. Der 3 1/2-Tonner „Herschel“ wird für Jahre mit seinem 3,5-m-Spiegel das größte Teleskop im All sein. Es handelt sich um ein tiefgekühltes Submillimeterinstrument. Die zum Kühlen – stellenweise auf 0,3 Grad über dem absoluten Nullpunkt – mitgeführten 2000 Liter an flüssigem Helium sollen drei Jahre reichen. Auch der Zweitonner „Planck“ ist tiefgekühlt. Er soll in der Hintergrundstrahlung nach den Wurzeln der kosmischen Gestaltwerdung suchen. (Aus einem völlig strukturlosen Anfangskosmos hätte niemals etwas so Zerklüftetes, wie das heutige Universum, hervorgehen können.) Beide Teleskope dienen der Rekonstruktion der Vergangenheit, „Planck“ schaut sogar zurück in den Nebel der Schöpfungsfrühe. Die Zukunft ist und bleibt ein Buch mit sieben Siegeln, die kosmische Vergangenheit aber liegt offen vor uns: Das Universum wurde wenige hunderttausend Jahre nach dem Urknall durchsichtig!

Hoffen wir, dass alles klappt bei der ESA, der Europäischen Weltraumorganisation, und wir, Laien wie Forscher, den Humboldtschen Pfad der geistigen Aneignung der materiellen Welt ein kleines Stück weiter durch die Wirrnis zu schlagen vermögen, „der erhabenen Bestimmung des Menschen eingedenk, den Geist der Natur zu ergreifen, welcher unter der Decke der Erscheinungen verhüllt liegt.“. Ob wir eine Bestimmung haben, ist inzwischen zweifelhaft. An der hohen Meinung, die Humboldt von der Naturwissenschaft hegte, sollte man aber festhalten.

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Mai

Anfang Mai steht der Morgenstern im größten Glanze. Auch wenn danach der Venus Glanz schwindet, ihre Sichtbarkeit nimmt in den nächsten Wochen und Monaten noch zu. Im Herbst wird man ihren Aufgang gar bei völlig dunklem Nachthimmel erleben können.

Apropos Venus: Vor 40 Jahren, am 16. und am 17. Mai 1969, empfing sie Besuch von der Erde. Keiner der beiden Eindringlinge, die Landekapseln von Venera 5 und Venera 6, erreichte indes bei „Bewusstsein“ die Oberfläche. Den höllischen Bedingungen, Hitze und Druck, waren die Raumflugkörper noch nicht gewachsen. Bis zur ersten erfolgreichen Landung sollten noch 1 1/2

Jahre vergehen.

Mars ist ebenfalls etwas für Frühaufsteher. Seine Zeit kommt aber recht eigentlich erst gegen Ende des Sommers.

Jupiter schafft es im Mai, bereits bei völlig dunklem Himmel aufzugehen, bevor ihn in der Zeit der kurzen Nächte die Dämmerung wieder einholt. Ab Juni ist er bereits vor Mitternacht überm Horizont. Am 25. Mai trifft er sich übrigens mit seinem Götterkollegen Neptun. Dieser steht dann $0,4^\circ$ über ihm, jedenfalls für uns Bewohner der Nordhalbkugel. Weil gerade vom Neptun die Rede ist: Der zweite Neptuntrabant, die Nereide, begeht am 1. Mai den 60. Jahrestag ihrer Entdeckung durch Gerard Kuiper, einem Niederländischen Astronomen. (Der Name dürfte langjährigen Lesern des Kosmos-Boten geläufig sein: Vom äußeren Asteroidengürtel, dem „Kuiper-Gürtel“ war immer mal wieder die Rede.)

Saturn beherrscht noch immer den Abendhimmel. Mit dem „Stillstand“ geht am 17. Mai seine diesjährige Oppositionsperiode zu Ende. Ende des Monats taucht Saturn bereits eine Stunde nach Mitternacht unter den Horizont.

LOFAR

Im April-Newsletter war ich so unvorsichtig zu behaupten, der Rand einer Linse sei wichtiger als die Linse selbst. So etwas muss Kopfschütteln hervorrufen. Schließlich ist es die Linse, die Geld kostet. Sprechen wir also über LOFAR, das *LOW Frequency ARay*. Stören Sie sich bitte nicht daran, dass es sich um ein Instrument der Radioastronomie handelt. Die Radiotechniker exerzieren uns bloß vor, was mit Jahrzehnten Verzögerung im Infraroten und irgendwann hoffentlich auch im Optischen möglich sein wird.

Wozu dient das Objektiv eines Linsenfernrohrs (bzw. der Parabolspiegel eines Spiegelteleskops)? Es bildet eine unendlich entfernte Lichtquelle im Endlichen, sprich in der Brennebene, ab. Einem Photon stehen viele Wege offen: durch die Linsenmitte, über den Linsenrand oder irgendwo dazwischen. Es hat den Anschein, als benutzt es alle denkbaren Wege, selbst beliebig krumme, gleichzeitig. Jedenfalls wird so sein Verhalten am besten bildhaft umschrieben. Es wird nun dort mit der höchsten Wahrscheinlichkeit auf die Empfängerfläche treffen, wo ihm möglichst viele Wege offenstehen, deren *optische* Längen identisch sind, d. h. es ihm erlauben, zur gleichen Zeit dort anzukommen, um mit sich selbst zu interferieren.

Betrachten wir nur die geraden Wege, so ist klar, dass *geometrisch* der Weg durch die Linsenmitte der kürzeste ist. (Der Weg über den Rand erscheint uns als Umweg.) Auf diesem Mittelweg muss das Photon also verzögert werden, damit es nicht zu früh am Zielort eintrifft. Dazu dient das Glas. In Glas ist die Lichtgeschwindigkeit geringer als in Luft. Es bremst! Das Licht verweilt eine Weile im Glas. Eine Linse ist ein Verzögerungsinstrument und macht die *optischen* Wege, also Weglänge ausgedrückt in Einheiten der Lichtwellenlänge, gleichlang! Sie ist in der Mitte am dicksten, weil dort die längste Verzögerung vonnöten ist! Man könnte den gleichen Lichtsammelleffekt auch erreichen, indem man anstelle der Linse ein Bündel von Lichtleitfasern *unterschiedlicher* Länge beginnen ließe. Dimensionierte man die Längen der einzelnen Lichtfasern so, dass optische Weglängengleichheit herrschte – wobei es hinsichtlich der Genauigkeit auf Bruchteile der Wellenlänge ankäme, sprich 0,00001 mm im Optischen! – und brächte das Licht aus den vielen Fasern an deren Ende durch eine sinnreiche Konstruktion zur Überlagerung (Interferenz), könnte man mit einer solchen Anordnung – ohne Linse! – die monochromatische Helligkeit des Himmels in einer (durch die Faserlängen) vorgebbaren Richtung messen. Das Licht kann dabei auch schräg auf das Faserbündel fallen. Nur ein Photon, das aus exakt dieser Richtung käme, lösche sich nicht selbst durch Interferenz aus! Da sich das Himmelsgewölbe von uns aus gesehen dreht, könnte man, mit einem fest installierten *Fasern-Array*, welches in eine Richtung schaut, unter geschickter Ausnutzung der Erdrotation nacheinander einen ganzen Himmelskreis abtasten.

Das hier beschriebene optische Array ist Zukunftsmusik, in der Radioastronomie aber schon seit einem halben Jahrhundert Wirklichkeit. Sogar einen Nobelpreis hat es für die Erfindung der „Apertursynthese“ gegeben – 1974 für Sir Martin Ryle. In der Radioastronomie erzeugt man Laufzeitunterschiede einfach durch unterschiedlich lange elektrische Kabel. Wegen der großen Wellenlänge kommt es dabei auf ein paar Millimeter nicht an. Das aber ist seit langem machbar. (Das größte Problem war von Anfang an der Mangel an schnellen Computern, um aus den Radiodaten ein Bild zu erzeugen.)

Im Bereich des Nahinfraroten hat man gerade erst begonnen, das Licht weit voneinander entfernter Teleskopen phasengerecht zur Überlagerung zu bringen. Das größte optische Array ist das VLTI (*Very Large Telescope Interferometer*) der ESO auf dem Paranal in Chile. (Jedes der vier großen feststehenden 8,2-m-Teleskope und der vier beweglichen kleinen 1,8-m-Teleskope steht dabei für eine Lichtleitfaser in unserem Gedankenexperiment.) Die Laufzeit-

unterschiede werden durch ein System von festen und beweglichen „Katzenaugen“-Spiegeln (Quelle: ESO) realisiert, wobei es auf eine Genauigkeit beim Spiegelabstand von 0,00001 mm ankommt. Und das bei bis zu 60 m Abstand und in Bewegung! Auch beim LBT, dem *Large Binocular Telescope*, auf dem Mount Graham in Arizona will man versuchen, das Licht der beiden 8,4-m-Spiegel in einem gemeinsamen Brennpunkt zur Interferenz zu bringen, um damit das optische Auflösungsvermögen eines einzelnen Parabolspiegels von über 20 m Durchmesser zu erreichen.

Und was ist das Revolutionäre an LOFAR?

Nun, bei LOFAR werden die Radiowellen nur noch *virtuell*, sprich im Computer, zur Überlagerung gebracht. Die Radio-Photonen werden sozusagen noch vor der „Linse“ abgefangen, mittels Antennen, und die zeitlichen Schwankungen der elektrischen Signale digitalisiert in Dateien abgespeichert. Die Interferenz wird ersetzt durch numerische Korrelation der in den Dateien erfassten Zeitreihen. Durch Anbringung von genau dosierten Zeitverzögerungen kann man dadurch in beliebige Himmelsrichtungen „blicken“. Im Prinzip könnte man gleichzeitig den gesamten Radiohimmel bei einer bestimmten Wellenlänge im Computer abbilden. Doch dem sind Grenzen gesetzt: Die Rechner sind immer noch viel zu langsam und die Speicher viel zu klein und das Budget auch. Die LOFAR-Leute beschränken sich deshalb auf das gleichzeitige Beobachten von immerhin acht Himmelsrichtungen.

Und die 1000 km große Linse? Sie wird ersetzt durch etwa 40 Antennenfelder von jeweils 60 m \times 60 m. Genaugenommen sind es immer zwei Antennenfelder, da man in zwei Frequenzbändern beobachten will. Es wird also keineswegs die gesamte „Linse“ mit Antennen überdeckt. Man beschränkt sich mit Ausschnitten. Insgesamt kommen aber immerhin 0,5 km² an Auffangfläche zustande. Das genügt, um ein eindeutiges und ein helles Radiobild zu erzeugen. (Ist die Anzahl der Antennenfelder zu klein, wird das errechnete Bild mehrdeutig.) Das Zentrum der riesigen Antennenanlage ist bei Exloo. Dort befinden sich in einem Gebiet von zwei Kilometern Durchmesser allein 20 Antennenfelder.

Die Idee zu diesem Software-Teleskop in zwei Radiofrequenzbändern (30–80 MHz und 120–240 MHz) hatten niederländische Astronomen. Da ihr Land zu klein für LOFAR ist, sind einige Antennenfelder außerhalb der Niederlande stationiert: in Deutschland bei Bonn, Garching, Jena, Jülich und Potsdam. Die Antennen selbst sind Massenware, einfache Dipole. Von insgesamt 10 000 Einzelantennen ist die Rede. Das Problem ist die Vernetzung, der schnelle

Datentransport (20 GBits/s) zu dem zentralen Computer in Groningen und die Datenmenge (200 Terabytes pro Tag).

Der Vorteil einer solchen Software-Lösung liegt auf der Hand: keine beweglichen Teile und deshalb preisgünstig. Tonnenschwere Präzisionsmechanik wäre teuer. Die Feinjustierung erfolgt im Computer durch Anbringung von zusätzlichen kleinen Laufzeitunterschieden für die einzelnen Antennenstationen, bis das im 34-Teraflops-Zentralrechner mittels Korrelation der Einzeldaten errechnete „Radiobild“ scharf ist. Damit kann man leicht sogar Laufzeitunterschiede, die in der Ionosphäre entstehen und eine Radioszintillation verursachen, korrigieren. (Das gleiche Prinzip benutzen seit kurzem „optische“ Astronomen. Sie nennen das adaptive Optik. Leider ist die noch im realen Raum angesiedelt mit teuren deformierbaren und leichtzerbrechlichen Spiegeln.) Und man muss nicht warten, bis alle Stationen betriebsbereit sind. Das Teleskop ist im Betrieb ausbaufähig. Die Messdaten neuer Stationen lassen sich unproblematisch einspeisen, sofern es nicht die Kapazität des Datennetzes und des zentralen Rechners übersteigt.

Wegen der riesigen Antennenfläche und seiner Ausdehnung (1000 km!) wird LOFAR im Radiobereich so scharf sehen können wie konventionelle Teleskope im Optischen. Die Empfindlichkeit sollte beispielsweise ausreichen, die 21-cm-Strahlung von Wasserstoffwolken im frühen Universum, eine Milliarde Jahre nach dem Urknall, aufzuzeichnen. Das war eine spannende Zeit damals, als die „Lichter“ angingen im dunklen Universum. Bevor es überhaupt zu so etwas wie Sternen hat kommen können, musste sich das Universum durch Ausdehnung gehörig abkühlen. In einem nicht expandierenden und stets heißen Universum wäre es nie dazu gekommen.

Die 21-cm-Strahlung des neutralen Wasserstoffs war 1944 theoretisch vorausgesagt worden und kurze Zeit später von niederländischen Radioastronomen tatsächlich nachgewiesen worden. Damals hatte man den Wasserstoff in unserer Galaxis kartiert und seine Bewegung studiert. Jetzt will man tief in die kosmische Vergangenheit zurückschauen. Wegen der enormen Rotverschiebung fällt die 21-cm-Linie in den LOFAR-Hochfrequenzbereich: 1,25–2,5 m. LOFAR ist ein Universalinstrument und das frühe Universum beileibe nicht seine einzige Aufgabe. Für Potsdams Sonnenforscher ist LOFAR einfach ein riesiges Sonnenteleskop.