

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

in den November-Newsletter hatte sich ein Tippfehler eingeschlichen gehabt. Der Merkurdurchgang vor der Sonnenscheibe fand am 8. November statt (gegen 22 Uhr) und nicht, wie zu lesen war, am 22. Ich hoffe, niemand kam zu Schaden deshalb. Das täte mir Leid.

Die Astronomie ist eine beobachtende Wissenschaft. Ihr Fortschritt war und wird wesentlich vom Stand der Gerätetechnik diktiert. Anders als dem Physiker ist es dem Astronomen nicht vergönnt, mit den Objekten seiner Begierde zu experimentieren. Er muss mit dem vorlieb nehmen, was sich gerade ereignet. Zuweilen kommt Natur ihm entgegen, indem sie, wie in einem guten Labor, Störeinflüsse klein hält, so dass Wesentliches nicht im Zufälligen und Ungefährnen untergeht. Diese günstigen Gelegenheiten heißt es am Schopfe packen. Ich weiß nicht, ob ein Newton sein  $1/r^2$ -Gesetz der Schwerkraft gefunden hätte, wäre die Sonne nicht so dominierend. (Das heißt, Jupiter fällt nicht ins Gewicht.) Wenn die Wirklichkeit voll zuschlägt, gibt es nämlich keine Keplerellipsen. Die Unterscheidung zwischen Kosmos und Chaos hätte sich vermutlich erübrigt und mit ihr die neuzeitliche Naturforschung und Technikentwicklung. Seien wir dankbar, dass die Dinge oft nicht halb so kompliziert sind, wie sie sein könnten.

Teilbereiche der „himmlischen Physik“ lassen sich durchaus ins Labor holen, wie Experimente zum Staubteilchenwachstum bei Schwerelosigkeit oder zur Entfaltung von magnetisch getriebener Turbulenz, was u. a. für den Sonnen- und Sterndynamo wichtig ist, belegen. An Bedeutung gewinnen Computer-„experimente“ wie numerische Simulationen zur kosmische Strukturbildung in dunkler Materie auf Supercomputern. Hier ist die Physik denkbar einfach, sie beschränkt sich auf Newtons  $1/r^2$ -Gesetz, den freien Fall!

Trotzdem, die Astronomie bleibt eine beobachtende Wissenschaft. Aus der Anschauung holen wir die Inspiration. Uns ermangelt es nämlich schlicht an Fantasie. Sich vorzustellen, was alles physikalisch möglich ist, ist unmöglich. Wir müssen schon mit der Nase darauf gestoßen werden.

Ein „Kosmosbote“, der sich zu den Grundlagen der astronomischen Beobachtung äußert, scheint mir überfällig. (In den nunmehr über 50 Ausgaben war

kaum von Teleskopen und Detektoren die Rede gewesen.) Vielleicht hätten Sie ja auch gerne noch einen Tipp, worauf zu achten ist beim Weihnachtseinkauf eines Fernrohrs?

Einen festlichen Jahresausklang wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im Dezember

Die Mondbahnebene ist nicht raumfest. Sie ist ein Kreisel, an dem Sonne und Planeten zerren. Zur Zeit führt die Mondbahn durch die Plejaden. Kurz vor Vollmond, am 4. Dezember, durchwandert der Mond wieder bei seinem monatlichen Umlauf das Siebengestirn. Auch am Silvesterabend kommt er ihm nahe. Genießen Sie diese Serie von Begegnungen des Mondes mit den Plejaden! Sie wiederholt sich nur aller 18,6 Jahre. Die Plejaden stehen ungefähr  $4^\circ$  nördlich der Ekliptik. Mehr als  $5^\circ$  kann der Mond nicht erreichen, da seine Bahnebene um eben jenen Winkel gegen die Erdbahnebene (Ekliptik) geneigt ist.

Der Himmel füllt sich allmählich wieder mit hellen Planeten. In der Morgendämmerung sind jetzt Mars und Jupiter sichtbar. Saturn steht gegen Monatsende bereits um 20 Uhr auf. Am Monatsende beginnt auch die Sichtbarkeitsperiode der Venus. Sie war Ende Oktober hinter der Sonne entlang marschiert und geht nun (von unserer Warte aus) zunehmend auf Distanz zur Sonne. Wir dürfen sie demnächst in ihrer Rolle als Abendstern bewundern.

Das wichtigste zum Schluss: Ab dem 22. Dezember werden die Tage wieder länger! Eine Stunde nach Mitternacht beginnt an jenem Tage astronomisch der Winter. Die Sonne hat dann ihren tiefsten Stand bezüglich des Erdäquators erreicht und strahlt mit voller Wucht auf die Häupter derer, die den Wendekreis des Steinbocks bevölkern.

## Wozu Fernrohre?

Stellen Sie sich vor, Sie seien auf dem Mars. Über Ihnen die Sonne. Sie strahlt insgesamt nur etwa halb so stark wie zu Hause – kein Wunder, der Mars ist weiter weg von ihr –, aber hineinschauen dürfen Sie nach wie vor nicht. Der Sonne Flächenhelligkeit ist unverändert die eines Körpers von  $6000^\circ$ . Der

kleine Sonnenball hebt sich hell vor dem vom Staub getönten Marshimmel ab. Was uns das lehrt? Die Entfernung vermag der *Flächenhelligkeit* eines Körpers nichts anzuhaben. Bei Verdopplung beispielsweise verringert sich die Gesamtstrahlung auf ein Viertel, die leuchtende Fläche am Himmel aber auch. Der Quotient bleibt derselbe.

Sterne sind Sonnen, gleißend hell. Egal, wie weit entfernt, jeder Stern des Universums sollte zu sehen sein – und das am Tage<sup>1</sup>! Doch das entspricht nicht der Erfahrung. Woran liegt das?

Unser Blick ist nicht scharf genug! Wir sehen auf keine Sternoberflächen! Die Sterne sind zu weit entfernt. Auch die Hubble-Kamera auf der Erdumlaufbahn liefert keine „gestochen scharfen“ Bilder. Die falschen Sternscheibchen übertreffen die Ausmaße der wahren ganz gewaltig. *Deren Licht wird auf ein riesiges Areal verteilt.* Es ist das mangelhafte Winkelauflösungsvermögen unserer Teleskope, die künstliche Lichtverdünnung, die uns nicht jeden Stern des Universums sehen lässt. Große Teleskope und empfindliche Detektoren werden benötigt, damit sich diese überdimensionierten Sternscheibchen von dem schwachen Leuchten des Nachthimmels abheben. Die wirklichen Sterne tun es allemal. Aber sie selbst bekommen wir, abgesehen von der Sonne und einigen wenigen Ausnahmen, nicht zu Gesicht, nur ihr beispiellos vergrößertes Abbild.

Die begrenzte Trennschärfe eines Teleskops ist zum einen der Wellennatur des Lichtes geschuldet. Licht wird am Instrument gebeugt<sup>2</sup>. Je größer das Instrument im Vergleich zur Lichtwellenlänge, desto kleiner die Beugungseffekte, desto genauer ist die Richtung angebbbar, aus der die Welle kommt. Ein Beispiel: Sie sind auf See und lassen sich von der Dünung schaukeln. Ist ihr Boot klein, überblicken Sie nur wenige Wellenlängen, und es wird Ihnen schwerfallen, die Richtung, aus der die Wellen kommen, einigermaßen genau anzugeben. Sind hingegen die Wellen kurz oder ist ihr Schiff groß (im Vergleich zur Wellenlänge), gelingt ihnen das schon viel besser.

Um die Sonne, vom Andromedanebel aus, als gleißend helles Kügelchen zu sehen, brauchten wir aus elementaren wellenphysikalischen Gründen ein Nach-

---

<sup>1</sup>Zwischen den Sternkügelchen am Himmel ist massig Platz für den kalten kosmischen Hintergrund, die 3-K-Strahlung. Anderenfalls wäre der ganze Himmel eine einzige glühende Sternoberfläche und die Erde mit ihm im thermischen Gleichgewicht, sprich Tausende von Grad heiß.

<sup>2</sup>Um alles über einen Gegenstand zu erfahren, müsste man all sein Licht auffangen. Indem wir nur einen kleinen Teil herauschneiden, durch Linse oder Spiegel, verlieren wir die Information, die wir benötigten, um das Objekt vollständig zu rekonstruieren.

weisgerät von Jupitergröße! Was ich von hier aus mit einer Augenpupille von wenigen Millimetern klar erkennen kann, den Sonnenball, erforderte vom Andromedanebel aus ein Auge, so groß wie Jupiter!

Aus der Traum vom Sehen aller Sterne unseres lokalen Galaxienhaufens am Taghimmel.

Ich sprach absichtlich etwas verschwommen von einem „Gerät“, denn es muss sich nicht unbedingt um ein abbildendes Teleskop handeln. Die Radioastronomen machen uns gerade vor, dass es im Prinzip auch anders gehen könnte, ohne Linsen und Spiegel. Auf das LOFAR-Projekt (Low Frequency Array) kann ich aber heute nicht eingehen. Mir kam es nur auf die Größe des „Gerätes“ an, und die ergibt sich aus einer einfachen Überlegung prinzipieller Art.

Überhaupt lässt es einen schmunzeln, mitzuerleben, wie die „optischen“ Astronomen mit Jahrzehnten Verspätung nachmachen, was ihre Kollegen von der Mikrowelle längst vorgemacht haben. Zu vermerken ist, dass es wegen der millionenfach längeren Wellen den Radioleuten auch millionenfach leichter fällt, ihre Ideen technisch umzusetzen. Prinzipiell unterscheidet sich die Lichtastronomie in nichts von der Radioastronomie. Hier wie da geht es um den Nachweis elektromagnetischer Wellen. Den Superheterodynempfänger, den Überlagerungsempfänger fürs Optische gibt's aber immer noch nicht. Aber es gibt Hoffnung: Im Infraroten arbeitet er schon. (Erfunden wurde der „Super“ um 1918!)

Leider wird, wie angedeutet, das Auflösungsvermögen eines optischen Teleskops nicht allein durch den Wellencharakter des Lichts begrenzt, vielmehr durch die Luftunruhe. Die letzten Kilometer muss das Sternenlicht durch wabernde Luftschichten, und die machen das Sternscheibchen hin- und herspringen. Deshalb der Hang des Astronomen zu hohen Bergen. Die trennende Luftschicht ist dünner, das sog. „seeing“ einfach besser als am Boden des Luftozeans. (Außerdem sind in der trockenen Luft dort auch Infrarot- und Submillimeter-Beobachtungen möglich.)

Gegen schlechtes „seeing“ gibt es Abhilfe. Amateure machen sich zunutze, dass das „Verwackeln“ bei kurzen Belichtungen quasi „eingefroren“ ist. Jeder Schnappschuss für sich ist scharf, d.h. beugungsbegrenzt, man muss nur noch akribisch die Einzelbilder im Computer übereinander kopieren, wobei man tunlichst die besten Bildchen nur verwendet. Dieser Trick verfängt bei Großteleskopen nicht. Typische Turbulenzelemente sind nur etwa handteller-groß. Eine Serie kurzbelichteter Aufnahmen mit einem Großteleskop zeigt entsprechend eine Unmenge nahezu beugungsbegrenzter Bildchen, die wild durcheinander wirbeln.

Hier hat es nun zwei Entwicklungen gegeben. Die teurere Variante ist der Gang in den Weltenraum, um die Luft loszuwerden, die bei weitem preiswertere die *adaptive Optik*. Der Computer macht's möglich.

Das Prinzip ist einfach: Betrachten wir eine weit entfernte Punktlichtquelle. Die oberhalb der Lufthülle noch ebene Wellenfront wird durch atmosphärische Schlieren unvorhersehbar verbeult. Durch eine steuerbare flexible Spiegeloberfläche (meist der Sekundärspiegel, der Hauptspiegel ist für schnelle Deformationen zu träge) lassen sich diese Defekte beheben. Die rekonstruierte Wellenfront ist danach wieder halbwegs eben. Adaptive Spiegel müssen extrem dünn sein, sollen sie doch zig-mal in der Sekunde die Gestalt ihrer Oberfläche an die Gegebenheiten anpassen können. Dutzende Male in der Sekunde wird die Verformung der Wellenfront gemessen, Dutzende Male mittels des flexiblen Spiegels gegengesteuert – auf zehntausendstel Millimeter genau. Der Rechen- und Regelaufwand ist enorm, aber bedeutend billiger, als ein Teleskop in den Weltenraum zu schießen und es dort warten zu müssen. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass das Hubble-Raumteleskop mit seinem 2,4-m-Spiegel ein kleines Teleskop ist. (Natürlich brauchen wir Weltraumteleskope, aber in Spektralbereichen, die prinzipiell von unten nicht zugänglich sind.)

Die technischen Entwicklungen in der bodengebundenen Astronomie haben die der weltraumgestützten optischen Astronomie einfach überholt. Damit hatte kaum jemand gerechnet.

Der Computer macht überhaupt einiges möglich. Anstatt eine Verformung des Teleskops und ein Durchbiegen der Spiegel unbedingt zu vermeiden, was Teleskope älterer Bauart mechanisch schwer und thermisch träge gemacht hat, kann man das alles ja in *Rechnung* stellen, sprich irgendwie berücksichtigen. Der Rechenaufwand lohnt sich: heutige Großteleskope sind *vergleichsweise* leicht und, gemessen an ihrer Größe, geradezu billig. Es sind trotzdem Hunderte von Tonnen schwere Ungetüme, die Millionen kosten! Die „intelligente“ parallaktische Montierung von früher, sie sucht man vergebens, sie ist bei allen neueren Großteleskopen der simpleren Altazimut-Aufhängung gewichen. Beim Beobachten muss nun um beide Achsen nachgeführt werden und das mit variabler Geschwindigkeit. Auch der Drehung des Bildfeldes muss durch Drehen der Detektorenplatte entgegengewirkt werden. Heute alles eine Frage der Software. Und die kostet nicht die Welt.

Beim Kauf eines Fernrohrs im Supermarkt sollte man schon auf Stabilität achten. Ein wackliges Stativ, das bei jedem Luftzug zittert, wird einem schnell

die Freude an der noch so guten Optik vergällen.

Weshalb der Kampf um immer höhere Auflösung?

Zum einen lockt der Blick in den „Brunnen der Vergangenheit“, wo am Grunde die ersten Sternlein funkeln. Dazu müssen die seltenen Photonen von dort auf eine möglichst kleine Empfängerfläche konzentriert werden. Nur so heben sie sich in der Summe irgendwann vom Nachthimmelshintergrund ab. Im Idealfall, d.h. bei beugungsbegrenzter Optik, führt eine Verdopplung des Hauptspiegeldurchmessers zu einer 16-fach höheren Flächenhelligkeit: viermal mehr Photonen pro Zeiteinheit auf einer vierfach kleineren Fläche. (Die Lichtkonzentration ist entscheidend! Ein 2-m-Teleskop leistet bei einem guten Seeing von 1/3 Bogensekunde das gleiche wie ein 6-m-Teleskop bei schlechtem Seeing von 1 Bogensekunde.)

Zum anderen spielen sich gewisse Vorgänge halt auf astronomisch-winzigen Skalen ab. Extrembeispiel sind die schwarzen Löcher. Selbst die Riesenlöcher in den Zentren vieler Galaxien sind nur wenige Lichtstunden groß. Um ihre Existenz zu beweisen, müsste man nach deren Markenzeichen Ausschau halten, der Krümmung der Raum-Zeit. (Sie hängt nur von Masse und Drehimpuls (Rotation) des Loches ab, zwei Parametern also. Nichts Kompliziertes. Einfacher Beweis.) Selbst einen Lichttag im nicht ganz drei Millionen Lichtjahre entfernten Andromedanebel aufzulösen – das sind 86 400 Lichtsekunden oder 26 Milliarden Kilometer –, wäre ein beugungsbegrenztes Teleskop von 1 km Durchmesser vonnöten! Sie sehen schon, mit Einzelteleskopen wird das nicht mehr zu machen sein. Da muss man viele Teleskope über große Entfernungen (wellenoptisch, d. h. phasenrichtig) zusammenschalten, denn es kommt letztendlich nur auf die Größe des Gesamtgerätes an, und das darf aus einer Vernetzung von Bausteinen bestehen. Auch dies haben die Radioastronomen mit ihrer VLBI (Very-Long-Baseline-Interferometry) längst vorexerziert. (Die Abstände zwischen den einzelnen Radioantennen müssen hierbei *bloß* zentimetergenau bekannt sein. Da darf man bei der Auswertung die Kontinentaldrift nicht vergessen.)

Vielleicht wird ja einer unserer Nachbarsterne von einer Exo-Erde umkreist, und Sie als Geograf hätten gerne die Umrisse der Kontinente dort gezeichnet. Ein frei im Weltraum schwebendes Interferometer, verteilt über hunderte Kilometer, ein Geschwader von Teleskopen, deren Abstände untereinander auf Zehntausendstel Millimeter einzuhalten oder zumindest zu überwachen wären, könnte Ihnen diesen Anblick verschaffen.

Nicht zu vergessen: die Frage nach der Sternentstehung. Auch die spielt sich

in astronomisch-winzigen Regionen ab, tief im Innern staubiger interstellarer Wolken. Aber dort hineinzuschauen erfordert Infrarot- und Submillimeter-Instrumente. Einen Vorgeschmack auf das, was die Zukunft der beobachtenden Astronomie beschern wird, vermag ALMA (Quelle: ESO) zu geben, ein Europäisch-Nordamerikanisches Gemeinschaftsprojekt in der Atacama Wüste (Chile).

Zu den Fernrohren gäbe es noch viel zu erzählen. Doch nicht nur sie zeichnen für den enormen Aufschwung der beobachtenden Astronomie verantwortlich. Die Empfängertechnik wurde ebenfalls revolutioniert. Der Sprung von der Fotoplatte zum CCD-Chip ist ein gewaltiger, ein Quantensprung, geht es um die Quantenausbeute! Doch dazu einmal später.

Es ist nicht zu übersehen, dass die beobachtende Astronomie von den militärischen Entwicklungen im Gefolge des „kalten“ Krieges profitiert hat. So viel Geld wäre niemals in reine Wissenschaft gesteckt worden. Leider.