

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor 20 Jahren gab's unter astronomisch Interessierten nur ein Gesprächsthema: Hale-Bopp. Der Große Komet von 1997 war 1 1/2 Jahre lang mit bloßem Auge sichtbar. Am 1. April näherte er sich der Sonne auf 0,914 AE. Der Schwung schleuderte ihn zurück in die Außenbezirke des Sonnensystems. Um 4385 wird er wieder im inneren Bezirk erwartet. Save the date! Ein Jahr zuvor war ein anderer Neuankömmling, Hyakutake oder der Große Komet von 1996, in aller Munde gewesen. Bis zu dessen Wiederkehr dürfte Hale-Bopp zwei Dutzend Male hier vorbeigeschaut haben.

Heutzutage sind es die Exoplaneten, Planeten um benachbarte Sterne, die für Schlagzeilen sorgen. Deren Anzahl geht inzwischen in die Tausende. Bei aller Euphorie sollte man eines nicht übersehen: Wirklich gesehen, als schwache Lichtpünktchen, hat man bisher nur eine Handvoll! Da wären jeweils ein Riesenplanet in den jungen Staubscheiben von Formalhaut und β Pictoris sowie ein Planetensystem, bestehend aus vier jupiterartigen Planeten, um den Pegasus-Stern¹ HR 8799. Alle diese Lichtpünktchen sind weit vom Mutterstern entfernt, was nicht wundert, und haben Umlaufzeiten von Jahrzehnten und Jahrhunderten. Damit sie nicht im Licht des Muttersterns „ertrinken“, wird in einem Koronografen² künstlich eine Sternfinsternis erzeugt, d. h. die störende Lichtquelle ausgeblendet. Alle anderen Fälle, insbesondere diejenigen, die es in die Nachrichten bringen – erdgroße Planeten in der habitablen Zone –, sind samt und sonders Indizienbeweise. Eine gewisse Skepsis scheint also angebracht. Nicht alle „Entdeckungen“ dürften die Zeiten überdauern. Am überzeugendsten sind immer noch periodische Verfinsterungen von Sternen beim Durchgang von Exoplaneten vor der Sternenscheibe. Das müssen in Ermangelung einer plausiblen Alternativhypothese wohl Planeten sein. Gesehen hat diese dunklen Silhouetten vor hellem Hintergrund noch niemand! Was uns das Fernsehen an Bildern auftischt, sind Computersimulationen oder

¹Eine Laune des Zufalls: HR 8799 befindet sich nahe dem Stern 51 Pegasi, jenem Stern, bei dem 1995 der erste Exoplanet, ein heißer Jupiter, mittels der Radialgeschwindigkeitsvariation des Muttersterns indirekt nachgewiesen wurde.

²Entwickelt wurde der Koronograf, um unabhängig von einer Sonnenfinsternis die Korona beobachten zu können.

künstlerische Darstellungen, mehr nicht. Worauf es ankäme, wären Fotos von wirklichen „Erden“, die Kontinente und Ozeane zeigen, Wolken, jahreszeitliche Veränderungen³, die auf Vegetation hinweisen, ...

Der Frage, ob dies eines Tages möglich sein wird, sei hier nachgegangen.

Eine erbauliche Lektüre wünscht

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im April

Merkur erreicht am 1. April seine größte östliche Elongation. Er ist dann am Himmel 19° von der Sonne entfernt und geht am Abendhimmel mehr als $1\frac{1}{2}$ Stunden nach ihr unter. Die Anfang-April-Tage bieten die letzte Chance, in diesem Jahr den flinken Planeten abends aufzufinden.

Venus vollzog am 25. März die Verwandlung vom Abend- zum Morgenstern. Nunmehr westlich der Sonne, büßt sie seit ihrer unteren Konjunktion an Größe ein, gewinnt dafür aber an Glanz. Maximal hell erstrahlt sie Ende des Monats.

Des Mars Abendsichtbarkeit geht zu Ende. Er meldet sich Ende September zurück — am Morgenhimmel.

Jupiter geht in der Nacht vom 7. auf den 8. April in die Opposition. Für eine Weile sind er sowie seine vier großen Monde die ganze Nacht über in der Jungfrau zu bewundern. Um das Spiel der Monde zu verfolgen, reicht ein Feldstecher. Um Details, wie Wolkenstreifen auf dem Jupiter auszumachen, benötigt man schon ein kleines Fernrohr.

Saturn setzt am 6. April zu seiner diesjährigen Oppositionsschleife an. Dazu steht er einen Moment still am Himmel. Mit dem Stillstand am 25. August endet die Oppositionsphase. Dazwischen liegt die Opposition am 15. Juni im Schlangenträger. Ungünstiger geht es kaum: Steht mittags die Sonne hoch am Himmel, liegt der Gegenpunkt um Mitternacht naturgemäß tief im Süden. Der Schlangenträger ist bei Planetenfreunden unbeliebt.

Frühlingsvollmond ist am 11. April. Am Sonntag darauf ist Ostern.

³Man spricht vom „Altweibersommer-Signal“.

Auflösung ist nicht alles

Bei 10 Lichtjahren Abstand zeigte sich der „blue pale dot“, das Erdkugelchen, unter einem Winkel von 0,000 03 Bogensekunden. Zum Vergleich: Ein 50-cm-Globus auf dem Mond erschiene uns 10-mal größer!

Mit einem 10-cm-Amateurteleskop kann man auf dem Mond Details von wenigen Kilometern erkennen, ein 10-m-Teleskop mit adaptiver Optik, das beugungsbegrenzt arbeitet, erfasst 100-mal kleinere Details, also Findlinge von wenigen Dutzend Metern. Um die Kontinente einer Exoerde in 10 Lichtjahren zu zeigen wäre also eine Steigerung des Auflösungsvermögens um das 1000-fache vonnöten. Ein Teleskop von 1000×10 m, also 10 km Durchmesser, muss her!

Dass ein solches Instrument nicht notwendig aus einem Guss sein muss, beweist die VLB-Radiointerferometrie⁴. Um das Auflösungsvermögen eines großen Radioteleskops zu simulieren reicht es, kleine Einzelteleskope (phasenrichtig) zusammenzuschalten. Der maximale Abstand zwischen den einzelnen Antennen, die Basislänge des Interferometers, muss bloß dem Durchmesser des `g e d a c h t e n` Einzelteleskops entsprechen. Um allerdings aus der Überlagerung der Einzelbeiträge ein detailreiches Bild rekonstruieren zu können, bedarf es möglichst vieler unterschiedlicher Basislängen. Das kürzlich in Betrieb genommene *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA) ist ein Beispiel für ein bilderzeugendes sub-mm-Teleskop, welches aus Dutzenden von Einzelantennen (66 Parabolspiegel von jeweils zwölf bzw. sieben Metern Durchmesser) besteht.

Zur Zeit versucht man, weltweit acht Radioobservatorien so zu vernetzen, dass sie im Interferometer-Verbund die Auflösung eines virtuellen Radioteleskops von Erdgröße erreichen. Das wären sage und schreibe 0,000 02 Bogensekunden⁵. Im Falle des *Event Horizon Telescope* (EHT) liegt der Fokus u. a. auf dem schwarzen Superloch im Zentrum unserer Galaxis. Bei einer Masse von wenigen Millionen Sonnenmassen hat es einen Schwarzschildradius von Millionen von Kilometern. Die Verformung, die die Akkretionsscheibe, die das schwarze Loch füttert, durch die Einsteinsche Lichtablenkung erleidet,

⁴VLB steht für *Very Long Baseline*.

⁵Ein optisches Teleskop dieser Dimension hätte wegen der kürzeren Wellenlänge eine Trennschärfe von 0,000 000 01 Bogensekunden. Die Müritz wäre damit aus zehn Lichtjahren Abstand zu erkennen, zumal wenn es zu Lichtreflexen kommt. Diese Abschätzung beruht auf klassischer Wellenoptik. Interessant wäre, die Meinung von Quantenoptikern dazu einzuholen!

möchte man gerne sichtbar machen. Es wäre ein weiterer Test für Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie.

Leider ist Auflösung nicht alles, es müssen auch hinreichend viele Photonen aufgesammelt werden! Am besten wäre ein „unverdünntes“ optisches Interferometer, wo die einzelnen Teleskope dicht an dicht – also ohne viel Zwischenraum – angeordnet wären. Das Ganze wirkt dann so, als ob ein monolithischer Riesenspiegel in viele autonome Segmente aufgeteilt würde, die dennoch ihre Teillichtbündel in einem gemeinsamen Focus zur Überlagerung (Interferenz) bringen. Solche Teleskope gibt es bereits, allerdings in kleinerem Maßstab. Wege der Luftunruhe müsste jedes einzelne Teleskop für sich (mittels adaptiver Optik) ein beugungsbegrenztes Bildchen der fernen Welt liefern. Damit es zur Interferenz kommt, müssen die einzelnen Teleskope auf einen Bruchteil der optischen Wellenlänge genau gekoppelt werden, d. h. auf 0,0001 mm! Dass so etwas durchaus im Bereich des technisch Möglichen liegt, betont seit Jahrzehnten der französische Astronom Antoine Émile Henry Labeyrie (geb. 1943). Er entwarf das prinzipielle Design für ein optisches *Hyperteleskop*, mit dem sich Exoplaneten abbilden lassen.

Da die Kosten eines Teleskops rasant mit dem Hauptspiegeldurchmesser anwachsen, wäre eine Batterie von einigen Zehntausend Amateurteleskopen preiswerter als hunderte Teleskope der Meter-Klasse und leistete im Prinzip dasselbe!

Idealerweise sollte so etwas im Weltall stationiert werden, als frei fliegender Schwarm von Einzelteleskopen, die – durch Laser feinadjustiert – als Interferometer zusammenwirken. Bei einer Schwarmausdehnung von 100 km erreichte man den Mikrobogensekunden-Bereich (d. h. 460 km in 10 Lj)! Ein vergleichbares, wenn auch weniger ambitioniertes Projekt ist der *Stellar Imager* (SI) der NASA, ein Schwarm-Teleskop, welches aktive Regionen auf sonnenähnlichen Nachbarsternen mit einer Winkelauflösung von 100 Mikrobogensekunden kartieren soll.

Die hier angedeuteten phantastischen Möglichkeiten basieren auf Erkenntnissen der Wellenoptik aus dem dem letzten Drittel des 19. Jahrhundert. Damals gaben Ernst Abbe (1840–1905) und John William Strutt, 3. Baron Rayleigh (1842–1919) praktische Formeln an, mit denen sich die erreichbare Trennschärfe optischer Instrumente, Mikroskope wie Teleskope⁶, berechnen

⁶Entscheidend für die Trennschärfe ist, wie viele Lichtwellenlängen auf die Eintrittsöffnung der Optik entfallen, also der Durchmesser des eintretenden Lichtbündels ausgedrückt in Wellenlängen. Je größer diese Verhältniszahl, desto besser das Trennvermögen, weil sich

lässt. Allerdings sind diese Unschärfe-Formeln der Wellenphysik nicht von gleichem Rang wie die Heisenbergsche Unschärferelation der Quantenphysik. Letztere ist fundamental, die von Abbe und Rayleigh angegebenen Grenzen sind es nicht. Sie lassen sich ggf. unterlaufen. Man spricht dann von „Superresolution“. (Von dieser war im Zusammenhang mit Mikroskopie im November 2014 die Rede gewesen.) Superresolution ist ein interessantes und aktuelles Thema. Dennoch dürfte diese Technik im Zusammenhang mit der Abbildung von Exoplaneten keine Rolle spielen, da der „Trick“ darin besteht, Vor-Wissen in die Auswertung einfließen zu lassen, das wir im Falle von Exoplaneten nicht haben.

Wenn die wellenoptischen Überlegungen so fundamental nicht sind, wie man noch vor kurzem glaubte, stellt sich im Zeitalter der Quantenoptik die Frage nach einer wirklichen „Quantengrenze“ für die Auflösung. Photonen gehorchen den Regeln der Quantenwelt. Das birgt überraschende Möglichkeiten in sich! Der Kosmos-Bote hofft, sofern es ihm möglich ist, eines Tages dieser Frage nachgehen zu können.

das Licht einer Punktquelle, das aus der „falschen“ Richtung ankommt, durch destruktive Interferenz auslöscht. Da Lichtenergie nicht verschwinden kann, wird sie dem Licht aus der „wahren“ Richtung zugeschlagen. Deshalb sieht man mit einem großen Teleskop schärfer und weiter als mit einem kleinen: Die Beugungsscheibchen sind kleiner und das Licht ist mithin konzentrierter.