

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

hat Sie nicht auch schon geärgert, dass auf Ihrem Foto vom Sternenhimmel, die Sterne verschwommen sind, nicht punktförmig, wie es doch zu erwarten wäre angesichts der Entfernungen? Selbst wenn es gelingt, der Luftunruhe („seeing“) mit adaptiver Optik beizukommen, der Beugungsbegrenzung durch die Wellennatur des Lichtes entkommt man nicht, oder doch?

Der diesjährige Nobelpreis für Chemie – für Fluoreszenzmikroskopie mit Einzelmolekülen – kommt dem Kosmos-Boten gelegen. Wieso ist Licht-Mikroskopikern erlaubt, was Licht-Astronomen versagt bleibt: das Unterlaufen der theoretischen Auflösungsgrenze? Um es vorwegzunehmen, der Eindruck, die auf den Physiker Ernst Abbe (1840–1905) zurückgehende Formel für das Trennvermögen eines Mikroskops sei überholt, trügt. Die Forscher um Eric Betzig, Stefan Hell und William Moerner haben Situationen herbeigeführt, bei denen es nicht um das Trennen z w e i e r Lichtpunkte geht, sondern um die Präzision, mit der ein e i n z e l n e r Lichtpunkt, ein fluoreszierendes Molekül, geortet werden kann.

Die Formel für die Auflösung (Trennung eines D o p p e l s t e r n s) eines Teleskops, die die Astronomen verwenden, hat den gleichen wellenoptischen Hintergrund wie Abbes Formel aus dem Jahre 1873. Auch sie ist nicht maßgeblich für die Präzision, mit der sich die Position eines E i n z e l s t e r n s am Himmel bestimmen lässt.

Wellen gibt's auch in der Akustik. Und siehe da, Menschen mit geschultem Gehör, Musiker und Tontechniker, sind, was das gleichzeitige Erfassen von Tonhöhe und Tondauer anbelangt, über 10-mal „genauer<sup>1</sup> als die Physik erlaubt“! Könnner bringen es auf eine Zeitauflösung von 0,003 Sekunden! Wie, weiß man nicht. Die Erwartung<sup>2</sup> schärft die Wahrnehmung. Die „Erfindung“ des Gehörs hätte längst einen Nobelpreis verdient.

---

<sup>1</sup>Verfahren zur Datenkompression von Audiodateien nehmen darauf keine Rücksicht.

<sup>2</sup>Wird ein Klavierton rückwärts abgespielt, ist's vorbei mit dem Genauer-als-die-Physik-erlaubt. Die Hörschnecke (Cochlea) ist ein aktiver n i c h t-linearer Wandler. Das Gehör funktioniert so gut, weil es k e i n Hi-Fi-Organ ist!

Zu erinnern ist an Carl Sagan (1934–1996), dessen Geburtstag sich am 9. November zum 80. Male jährt. Er war mehr als ein Wissenschaftler: ein kritischer Denker und empfänglich wie kaum ein anderer für das Wunderbare, das Naturwissenschaft dem Skeptiker offenbart. Vor 40 Jahren, am 16. November 1974, wurde anlässlich der Wiederinbetriebnahme des hergerichteten Arecibo-Radioteleskops auf Puerto Rico eine Funkbotschaft in Richtung M 13 gesendet. Verfasser war neben Frank Drake (geb. 1930) – Carl Sagan. Inzwischen hat die lichtschnelle Nachricht mit Symbolgehalt 1/625 der Strecke zum Kugelsternhaufen zurückgelegt.

Der November verspricht spannend zu werden. Am 11. soll Philae auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko weich aufsetzen. Drücken Sie bitte die Daumen!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im November

Merkurjünger aufgepasst! In der ersten Monatshälfte gibt es eine Morgensichtbarkeit des scheuen Planeten, vorausgesetzt der Horizont ist dunstfrei. Der Merkur geht mit Beginn der astronomischen Dämmerung auf – fast zwei Stunden vor der Sonne.

Mars geht kurz vor 20 Uhr MEZ unter. Jupiter ist gegen Monatsende bereits ab 22 Uhr überm Horizont. Er kulminiert dann bereits in der Dunkelheit, drei Stunden vor Sonnenaufgang. Venus und Saturn sind der Sonne zu nahe, als dass sie zu sehen wären.

Für den 17. wird das diesjährige Aktivitätsmaximum der Leoniden erwartet. Schon Tage zuvor und danach sind Schnuppen dieses Stroms sichtbar.

## Auflösung und Genauigkeit

Das Auflösungsvermögen eines Fernrohrs, die Fähigkeit, *zwei* am Himmel benachbarte Sterne getrennt abzubilden, ist aus wellenoptischen Gründen begrenzt. Nach dem Rayleigh-Kriterium gilt für die Trennschärfe  $\theta = 1,22 \cdot \lambda/D$ , wobei der Winkel  $\theta$  in Radian<sup>3</sup> ausgedrückt ist,  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts und  $D$  der Durchmesser der Linse bzw. des Spiegels sind. Ein

---

<sup>3</sup>1 rad = 57,2957795... Winkelgrad

10-cm-Teleskop hat demnach im Optischen ( $\lambda = 555 \text{ nm}$ ) eine theoretische Winkelauflösung von etwas mehr als einer Bogensekunde.

Die Genauigkeit, mit der sich der Ort eines Sterns am Himmel messen lässt, hat mit dem Auflösungsvermögen nichts zu tun! Sie hängt allein davon ab, wie genau sich der Mittelpunkt des Beugungsscheibchens festlegen lässt. (Die beugungsbedingte Lichtverteilung wurde 1835 erstmals von Sir George Biddell Airy (1801-1892) angegeben, weshalb der Astronom auch vom Airy-Scheibchen spricht.) Ohne störendes Rauschen, also bei beliebig hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis, könnte man den Ort an der Sphäre beliebig genau angeben, wie man seit über 100 Jahren weiß.

Das Gesagte scheint ein Bildbearbeitungsverfahren nahezu legen, welches gestattet, Sternaufnahmen nachträglich zu schärfen: Man konzentrierte rechnerisch alles Licht eines Sterns auf ein kleines Scheibchen um den optischen Schwerpunkt des verwaschenen Originalscheibchens, wobei dessen Größe nur noch die Ungenauigkeit wiedergibt, mit der sich der Schwerpunkt ermitteln lässt. Letzteres ist eine Frage der Photonenstatistik. Leider fällt beim Betrachten einer derart nachträglich geschärften Himmelsaufnahme auf, dass es keine engen Doppel- bzw. Mehrfachsterne mehr gibt. Das ist nicht verwunderlich. Man war von Einzelsternen ausgegangen.

Ist der Mikroskopiker gewitzter als der Astronom? Nein, er hat nur andere Möglichkeiten, den „Sternenhimmel“ aus fluoreszierenden Molekülen, den er durchs Mikroskop betrachtet, zu manipulieren. Er kann durch nobelpreisverdächtige Tricks dafür sorgen, dass er es immer mit „Einzelsternen“ zu tun hat. In Göttingen beispielsweise werden mittels Laserstrahlen innerhalb von Bereichen, deren Größe von der Abbeschen Formel diktiert ist, bis auf ein fluoreszierendes Molekül alle anderen abgeschaltet. Die Konstellationen, die so ein Einzel-Molekül-Fluoreszenz-Mikroskop zeigt, bestehen aus optisch isolierten Molekülen, deren individuelle Positionen außerordentlich genau festlegbar sind. Anders als der Sternenhimmel des Astronomen, wo die Sterne zumeist zufällig angeordnet sind, zeichnen die „Sternketten“ im Mikroskop wirklich vorhandene Nano-Strukturen nach. Voraussetzung ist, dass jeder dieser „Sterne“ Abstand zum Nachbarn hält. Die Abbesche Beugungsformel der Wellenoptik ist nicht gegenstandslos geworden, sie regelt den Mindestabstand zwischen den molekularen Leuchttürmen!

Schade, dass der Astronom störende Sterne nicht mit Laser entfernen kann.