

Liebe Leserin, lieber Leser,

Der Orion geht, der Bärenhüter (Bootes) mit Arktur kommt, für den Landwirt der Antike einst das Signal, die Reben zu beschneiden.

Ein Astronom, der im Frühling das Licht der Welt erblickte – vor 325 Jahren – war James Bradley (1693¹–1762). Er begann als Geistlicher, wie so viele Gelehrte, und endete als Königlicher Astronom und Nachfolger von Edmond Halley (1656–1742) in Greenwich. Gestorben ist er im schwiegerväterlichen Haus in Chalford (Gloucestershire), nachdem er aus gesundheitlichen Gründen zuvor seinen Posten als Direktor der Königlichen Sternwarte aufgegeben hatte.

Bradley wollte des Kopernikus Weltansicht beweisen und hatte sich auf die Suche nach der Sternparallaxe begeben. Die Bewegung der Erde um die Sonne, müsse sich, so Kopernikus (1473–1543) in einer jährlichen periodischen Ortsveränderung der Fixsterne widerspiegeln. Doch die Sterne sind weit weg. Wie wir heute wissen, geht es, selbst bei nahen Sternen, um Bruchteile einer Bogensekunde, also um Zehntausendstel eines Winkelgrades. Diese Messgenauigkeit konnten Bradleys Instrumente, obwohl meisterlich gefertigt, nicht erzielen. Der Nachweis einer Fixsternparallaxe gelang erstmals 1838 dem Königsberger Astronomen Friedrich Wilhelm Bessel² (1784–1846) am Doppelstern 61 Cygni. Das war messtechnisch eine Meisterleistung, eine Bestätigung des heliozentrischen Weltsystems war es nicht mehr. Längst war man davon überzeugt, die Erde bewege sich um die Sonne und nicht umgekehrt. Das herausgefunden zu haben, bevor eine Fixsternparallaxe gemessen werden konnten, was allgemein als *Experimentum crucis* galt, war das unsterbliche Verdienst Bradleys. Er war bei der Suche nach der Parallaxe des Sternes γ Draconis um 1725 auf die jährliche Aberration gestoßen, die „Abirrung“ des Sternenlichts infolge der Erdbewegung um die Sonne. Ja, die Erde bewegt sich um die Sonne! Bei der Aberration handelt es sich, was 180 Jahre

¹Andere Quellen geben als Jahr der Taufe 1692 an.

²Bessel hat sich verdient gemacht um die Herausgabe eines Katalogs von ca. 3000 Sternen, deren Positionen Bradley mit Akkuratessse bestimmt hatte. Er reduzierte dessen Messungen und publizierte erstmals m i t t l e r e Sternörter, bezogen auf die 1760er Erdachse.

vor Einsteins Spezieller Relativitätstheorie niemand hat ahnen können, um einen relativistischen Effekt! Es geht ja um Licht, etwas schnelles! Bradleys Name ist mit einer weiteren Entdeckung (1747) auf dem Gebiet der Positionsastonomie verbunden – der Nutation. Der langsamen Präzessionsbewegung (Kreiselbewegung) der Erdachse mit einer Periode von etwa 26 000 Jahren, dem sog. Platonischen Jahr, ist eine Schwankung kürzerer Periode, rund 18,6 Jahre, überlagert, die im wesentlichen vom Mond herrührt. Die Mondbahn kreiselt ebenfalls. (Der Mondbahnkreisel entsteht, denkt man sich die Mondmasse längs der Mondumlaufbahn verteilt.) Der Nutationseffekt ist zwar klein, nur 9 Bogensekunden, aber für pingelige Astronomen natürlich nicht hinnehmbar. Erst der von der Nutation befreite mittlere Ort eines Sterns findet Eingang in Sternkataloge.

Der astronomische Frühlingsbeginn ist Anlass zum Feiern. Auf die Äquatortaufe der Sonne freut sich sicherlich nicht nur

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im März

Zur Monatsmitte geht Merkur mit 18,5 Grad auf maximale Distanz zur Sonne. Da es sich um die östliche Elongation handelt, ist er kurz nach Sonnenuntergang im Westen zu sehen. Man kann schon eine Woche zuvor Ausschau nach ihm halten. Am 4. März kommt es zu einer Begegnung mit dem Abendstern, der Venus. Die beiden kommen sich auf gut ein Grad nahe. Auch danach hält sich die Venus in der Merkur Nähe auf. Also: Nach der Venus schauen, was leicht ist, und Merkur finden!

Jupiter, Mars und Saturn sind immer noch dem Morgenhimmel vorbehalten. Für Jupiter gilt dies mit Einschränkung: Ab dem 9. März geht er bereits vor der MEZ-Mitternacht auf. Am selbigen Tag herrscht Jupiter-Stillstand. Danach bewegt sich der Hauptplanet rückläufig zwischen den Sternen. Opposition ist am 9. Mai.

Der astronomische Frühling beginnt am 20. März gegen 17:15 MEZ. Just zu diesem Zeitpunkt quert die Sonne, vom Süden kommend, den Himmelsäquator. Für Bewohner der Nordhemisphäre beginnt das Sommerhalbjahr.

Sommerzeit gilt ab dem 25. März.

Aberration

Bradleys Wahl, der Drachenhaupt-Stern γ Draconis, war eine schlechte Wahl. Der Riesenstern in (derzeit) 148 Lichtjahren³ Entfernung war für eine Parallaxenmessung denkbar ungeeignet. Der Effekt, hinter dem Bradley her war, bemisst sich auf 0,022 Bogensekunden. Der Effekt, den Bradley maß, die Aberration, erwies sich als 1000-fach größer. Die „Abirrung“ des Lichts ist nicht, wie die gesuchte Parallaxe, von der Entfernung des Sterns abhängig. In ihr spiegelt sich lediglich die nahezu kreisförmige Bewegung des Beobachters um die Sonne. Dass es sich nicht, wie erhofft, um die parallaktische Bewegung handeln konnte, war Bradley bald klar. Die jährliche Verschiebung am Himmel folgte nicht dem erwarteten Muster. Die gefundene Positionsverschiebung war stets in Bewegungsrichtung der Erde und für alle Sterne gleich groß. An den Polen⁴ der Ekliptik, wo die Blickrichtung (Sehstrahl) immer senkrecht auf der augenblicklichen Bewegungsrichtung der Erde steht, beschreibt ein Stern eine Kreisbewegung mit einem Radius von 20,49522 Bogensekunden um seinen eigentlichen⁵ Ort am Himmel. In der Ekliptik entartet dieser Aberrationskreis zu einem bloßem Hin und Her längs der Ekliptik. Dazwischen bewirkt die Aberration das Durchlaufen einer Ellipse, deren große Halbachse 20,49522 Bogensekunden misst. Die maximale Ortsveränderung am Himmel im Laufe des Jahres macht also fast 41 Bogensekunden aus. Das zu messen, erfordert ein wackelfrei montiertes Fernrohr. Um die Lichtbrechung (Refraktion) in der Atmosphäre unschädlich zu machen, blickte man nach oben, zum Zenit. Tatsächlich zählt γ Draconis zu den sog. Zenitsternen, Sternen, die eine ganze Weile nahe dem Scheitelpunkt des Himmelsgewölbes zu finden sind – natürlich zu unterschiedlichen Zeiten. Das Fernrohr soll Bradley an einem Schornstein befestigt haben, mit wenig Spielraum zur Vertikalen.

Die Aberration des Sternenlichts ist eine Folge der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit. Gewöhnlich wird der Effekt folgendermaßen erklärt: Angenommen, es regne. Die Tropfen fallen – es ist windstill – senkrecht auf die Erde. Für einen Autofahrer stellt sich das anders dar. Die Regentropfen prasseln keineswegs senkrecht aufs Fahrzeugdach, sofern sich das Fahrzeug bewegt. Je schneller die Fahrt, desto mehr scheint der Regen von vorne zu kommen. Selbst ein Fußgänger neigt unwillkürlich seinen Regenschirm in Gehrichtung

³Der K5-Riese nähert sich uns und wird in 1,5 Millionen Jahren fast 30-mal heller erscheinen als zu Bradleys Zeiten und damit fast so hell wie jetzt der Sirius!

⁴Der Nordpol befindet sich 15° nördlich von γ Dra.

⁵genauer: dem von der Sonne aus gesehenem Ort am Firmament

– wegen der Aberration. Der Abweichwinkel ist leicht zu berechnen. Wesentlich ist das Verhältnis Bewegungsgeschwindigkeit zur Fallgeschwindigkeit der Regentropfen.

Wir wechseln zu einem schnelleren Fahrzeug. Unser Planet rast mit 30 km/s durch das All. Schließlich muss er es schaffen, binnen eines Jahres die Sonne zu umrunden. Die Regentropfen, die auf ihn herniederprasseln, nun sind es die Photonen von γ Draconis. Jedesmal kurz vor Weihnachten und ein halbes Jahr danach bzw. davor „regnen“ die γ Dra-Photonen senkrecht auf den Geschwindigkeitspfeil (Vektor) der Erde. Das Licht ist $300\,000/30 = 10\,000$ -mal schneller als die Erde. Der Ablenkwinkel⁶, die sog. jährliche Aberration, beläuft sich auf die erwähnten 20,5 Bogensekunden. Um diesen Betrag erscheint der Stern gegenüber seiner wahren Position versetzt am Himmel. Um diesen Winkel muss ein Fernrohr (wie des Fußgängers Regenschirm) in die Bewegungsrichtung der Erde gekippt werden, damit der Stern im Fadenkreuz verbleibt. Gemessene Himmelskoordinaten müssen entsprechend korrigiert werden. Ein halbes Jahr später erscheint der Stern um diesen Betrag in die andere Richtung versetzt. Allein dadurch ist die „Abirrung“ überhaupt erkennbar! Bei rein geradliniger Bewegung der Erde durchs All verriete nichts die „richtige“ Stelle des Sterns am Himmel.

James Bradley berechnete aus gemessener jährlicher Aberration und bekannter Umlaufgeschwindigkeit der Erde die Lichtgeschwindigkeit. Er konnte den von Christiaan Huygens (1629–1695) angegebenen Wert verbessern. Huygens' Lichtgeschwindigkeit basierte auf den von Ole Christensen Rømer (1644–1710) angegebenen Verspätungen bei Jupitermondverfinsterungen. Der Bradleysche Wert unterscheidet sich nur noch um $1\,1/2\%$ von den 1983 festgelegten 299 792,458 km/s.

Es sei angemerkt, dass es neben der jährlichen Aberration auch eine tägliche, bedingt durch die Rotation der Erde, sowie eine säkulare Aberration gibt. In letzterer spiegelt sich der Umlauf der Sonne mitsamt dem Inventar des Planetensystems ums galaktische Zentrum wider. Obwohl wegen der hohen Umlaufgeschwindigkeit von 220 km/s die säkulare Aberration die jährlich um das Vielfache übertrifft, wird sie im allgemeinen nicht berücksichtigt, weil

⁶Im einfachsten Fall — die Photonen treffen senkrecht auf die Bewegungsrichtung der Erde — ergibt sich aus der Regentropfenanalogie ein Aberrationswinkel δ gemäß $\tan \delta = v/c$, wobei v die Geschwindigkeit der Erde senkrecht zum Stern und c die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Man beachte: Photonen sind keine Regentropfen! Die korrekte (relativistische) Formel findet der Leser weiter unten!

für menschliche Zeiträume die Sonnenbahn als geradlinig angesehen werden kann. (Erst nach über 100 Millionen Jahren kehrte sich der Effekt um.)

Der jährliche Aberrationseffekt übertrifft bei Sternen den parallaktischen Effekt bei weitem, beweist aber wie dieser, dass Kopernikus mit dem Heliocentrismus richtig liegt. James Bradley hat 1728 Kopernikus bewiesen⁷ – ein Kleriker aus dem 18. Jh. verhilft einem herätischem Kleriker des 16. Jh. zu öffentlicher Anerkennung!

Beim Beispiel mit dem Regen ist es klar: Die Tropfen, die bei Windstille von vorn kommen, prallen, wegen der vektorielle Addition der Geschwindigkeiten, mit höherer Geschwindigkeit gegen das Fahrzeug als sie vom Himmel fallen. Bei den Photonen von γ Draconis ist es keineswegs klar. Die Lichtgeschwindigkeit ist bekanntlich eine Naturkonstante⁸ und als solche unabhängig vom Bewegungszustand des Betrachters! Egal, wohin dieser eilen mag, die Photonen erreichen sein Fernrohr stets mit Lichtgeschwindigkeit⁹. Geht es um Licht, ist spätestens jetzt die Einsteinsche Spezielle Relativitätstheorie zuständig.

Zur Aberration kommt's allein durch die Änderung des Standpunktes. Die Relativbewegung zwischen Beobachter und Stern spielt keinerlei Rolle! Man geht lediglich von einem Koordinatensystem, in dem die Erde sich bewegt (und die Sonne ruht), zu einem anderen Koordinatensystem über, in dem die Erde ruht, dem System des Beobachters. Schließlich steht dessen Fernrohr gewöhnlich auf festem (Erd)Boden. Für hinreichend kurze Zeitabschnitte kann die Bewegung der Erde als geradlinig angesehen werden. Der Übergang zwischen den Systemen wird durch eine Lorentz-Transformation beschrieben. Sie trägt der Tatsache Rechnung, dass die Lichtgeschwindigkeit das einzig Absolute an der Relativitätstheorie ist. Wie man weiß, wird diese Absolutheit mit Zeitdehnung und Längenkontraktion¹⁰ erkaufte.

⁷Das Kopernikanische System ist das einfachere: Von der Sonne (genauer: dem Baryzentrum des Sonnensystems) aus gesehen, vollführen die Sterne weder Aberrations- noch parallaktische Ellipsen!

⁸Die Maßeinheit m/s suggeriert, die Lichtgeschwindigkeit sei etwas abgeleitetes: eine Strecke geteilt durch ein Zeitintervall. Beides halten wir für etwas Gegebenes, was nicht stimmt. Die Lichtgeschwindigkeit hätte, ihrer Bedeutung entsprechend, eine eigene Maßeinheit verdient! Dazu ist es jetzt zu spät.

⁹Was sich ändert, ist die Energie der Photonen!

¹⁰Die Relativitätstheorie macht die Physik einfacher (nicht unbedingt die Formeln): Beim Bezugssystemwechsel bleiben nicht mehr räumlicher Abstand und zeitliches Intervall getrennt erhalten, wie das der „gesunde“ Menschenverstand gerne hätte, vielmehr

Im Computerzeitalter kann man sich der „Abirrung des Lichtes“ spielerisch nähern. Der Kosmos-Bote entsinnt sich gut der Visualisierungen Einsteinscher Effekte durch den Tübinger Astrophysiker Hanns Ruder (1939–2015). Man begleitete dabei beispielsweise Einstein, bei drastisch reduzierter Lichtgeschwindigkeit, auf einer Radtour durch die Tübinger Altstadt. Die Aberration des Lichts bewirkt eine Art Tunnelblick (bei dem aber nichts verloren geht!), auch als Beaming¹¹ bezeichnet. Publikumsmagnet der „Einstein inside“ Ausstellung 2015 an der Berliner Urania war der „relativistische Drahtesel“, ein Heimtrainer gekoppelt mit PC und Bildschirm, auf dem man selbst eine virtuelle Tour unternehmen konnte. Je näher man durch Treten in die Pedale dem natürlichen Tempolimit, der Lichtgeschwindigkeit, kam, desto verzerrter die Sicht auf das Vertraute.

ein vier-dimensionaler Pseudoabstand, wo Räumliches und Zeitliches über die Lichtgeschwindigkeit c miteinander verbandelt ist. Für das lichtschnelle Photon steht die Zeit gar still: Der Pseudoabstand zwischen dem Aussenden eines Photons und dem Empfangen ist immer Null. Für den Aberrationswinkel, die Winkelabweichung von der Senkrechten, gilt: $\sin \delta = v/c$.

¹¹Nähert sich die Geschwindigkeit v der Lichtgeschwindigkeit c , strebt der Aberrationswinkel δ nach der Sinus-Formel gegen 90° . Gegenstände, die wir auf unserem Weg bei langsamen Tempo am Rande unseres Gesichtsfeldes wahrnehmen, erblicken wir bei hoher Geschwindigkeit nahezu von vorne.