

# Das Schwarze Loch und die Erdrotation

Franziska Konitzer

**Very Long Baseline Interferometry, oder: Wie Signale vom anderen Ende des Universums Geodäten helfen, uns zu verraten, wie spät es ist und wie wir wohin kommen.**

Was haben ein supermassereiches Schwarzes Loch und die Rotation unserer Erde miteinander zu tun? Hoffentlich nichts, mag man sich denken. Aber das würde weder dem supermassereichen Schwarzen Loch noch der Erdrotation noch uns selbst gerecht werden, denn es gibt eine Verbindung. Sie heißt Very Long Baseline Interferometry, kurz VLBI.

## VLBI als ein geodätisches Weltraumverfahren

Bei der Very Long Baseline Interferometry handelt es sich um ein geodätisches Weltraumverfahren. Bei diesem wird die Erde mittels Weltraumtechniken vermessen und es werden Veränderungen darauf genau beobachtet. Genutzt werden Sender und Empfänger in Umlaufbahnen um die Erde oder auch im weiteren Universum. Auch GNSS-Verfahren gehören zu den geodätischen Weltraumverfahren, oder das Dopplersatellitensystem DORIS. »Bei der VLBI sind die ›Sender‹ extragalaktische Radioquellen, die quasi unendlich weit weg sind«, erklärt Harald Schuh vom Geoforschungszentrum Potsdam.

Hier kommt das supermassereiche Schwarze Loch ins Spiel. Jene Radioquellen nämlich sind nicht nur extragalaktisch, befinden sich also außerhalb unserer eigenen Galaxie, sondern streng genommen sind es eigene Galaxienkerne, Quasare, um genau zu sein. Nun hat eine jede Galaxie einen Kern. Auch unsere Milchstraße verfügt über ein supermassereiches Schwarzes Loch in ihrem Kern, es heißt Sagittarius A\*. Seine Vermessung war 2020 den Nobelpreis für Physik wert. Bei Quasaren ist aber die Besonderheit, dass sie besonders aktiv sind, sodass viel Gas und Staub um das supermassereiche Schwarze Loch rotiert und schließlich hineinfällt. Dadurch ergeben sich starke Wechselwirkungen aufgrund der großen Anziehungskraft des Schwarzen Lochs. Der Galaxienkern wird aktiv und sendet Strahlung aus. Diese Strahlung kann anschließend Milliarden von Lichtjahren durch das Universum bis zur Erde zurücklegen und hier empfangen werden. Das supermassereiche Schwarze Loch mit seiner riesigen gravitativen Anziehungskraft – zum Vergleich: Sagittarius A\* bringt es auf rund vier Millionen Sonnenmassen und ist damit ein eher kleiner Vertreter seiner Art – dient als der Antrieb des Quasars.

## Unterschiedliche Ankunftszeit nach dem Trip durchs Universum

Während Astronomen auf der Suche nach immer weiter entfernten und damit älteren Quasaren sind und mehr über diese Himmelskörper per se herausfinden möchten, sind

für Geodäten die physikalischen Hintergründe vielleicht spannend, aber eigentlich nur Dekoration. Denn was für Geodäten viel wichtiger ist, sind zwei Tatsachen: Einerseits kann die Strahlung dieser Quasare, etwa im Radio- oder im Mikrowellenbereich, auf der Erde empfangen werden. Es handelt sich dabei um Punktquellen. Andererseits sind die Quasare alle so weit, also quasi unendlich weit, entfernt, dass sie als die besten Fixpunkte approximiert werden können, die das Universum derzeit zu bieten hat. Somit sind sie ein fast perfekter Lieferant paralleler Signalwellen.

## VLBI und das Geodätische Observatorium Wettzell

»Ende der 1960er-Jahre gab es erste Vorschläge, dass das Verfahren der Very Long Baseline Interferometry auch für die Geodäsie genutzt werden könnte«, erzählt Harald Schuh. »Nach Deutschland ist es dann Mitte der 1970er-Jahre gekommen.« VLBI ist in Deutschland dabei untrennbar mit einem eigentlich unscheinbaren Ort in Bayern verknüpft: Wettzell. Dort befindet sich das Geodätische Observatorium Wettzell. Es wird gemeinsam vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und von der Technischen Universität München betrieben. »Wettzell ist die meistgenutzte Station im Bereich VLBI weltweit«, erzählt Alexander Neidhardt, der dort arbeitet. Drei Teleskope gibt es für das Verfahren. Alleine kann aber keines von ihnen arbeiten: Für den »very long« Teil der Very Long Baseline Interferometry braucht es weitere Radioteleskope in mehreren tausend Kilometern Abstand. Für zwei Radioteleskope kommt die parallele Signalwelle des Quasars bei einem Teleskop ein klein wenig eher an als an dem anderen.

## Das korrelierte Rauschen im Rauschen

Aus der gleichzeitigen Beobachtung von vielen verschiedenen Quasaren durch zwei Stationen ermittelt man eine Basislinie, also die Entfernung zwischen den zwei Stationen. Was vom Prinzip her einfach klingt, ist es nicht wirklich. »Ein Handy auf dem Mond ist ungefähr so laut wie unsere stärkste Quelle«, erzählt Alexander Neidhardt. Die Signalstärke der Quasare verschwindet im Hintergrundrauschen des Universums. Das ist der Grund, warum mit diesem Artikel keine Grafik eines »Rohsignals« einer solchen Radioquelle erscheint: »Da sieht man nichts«, sagt Neidhardt. »Das ist nur Rauschen im Rauschen. Das eigentliche Signal kann man in der Regel nicht sehen. Es wird erst bei der Korrelation mehrerer Aufzeichnungen von verschiedenen Teleskopen sichtbar.«

Nach einer Messkampagne verarbeitet ein Korrelator alle Signale der Radioteleskope. Diese werden anschließend solange gegeneinander verschoben, bis die Signale miteinander übereinstimmen. Diese Verschiebung ist dann die

Das Geodätische Observatorium Wettzell wird gemeinsam vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und von der Technischen Universität München betrieben.

Bild: Uwe Hessels



gesuchte Größe, nämlich die Differenz der Ankunftszeiten an den beiden Teleskopen. Eine 10.000 Kilometer lange Basislinie lässt sich so auf drei Millimeter genau bestimmen.

### Von der Korrelation zur Analyse

»Mittlerweile werden diese Daten auch in Wettzell verarbeitet. Wir verfügen über einen Hochleistungs-Korrelator, so dass andere Stationen die Daten nach Wettzell senden können, wo sie verarbeitet werden«, erzählt Alexander Neidhardt. Die Messprogramme sind allerdings üblicherweise 24 Stunden lang und werden über den International VLBI Service for Geodesy and Astrometry organisiert. Da die Daten dann viele Terabyte umfassen, werden diese gesammelt und an ein Korrelationszentrum geschickt. Dann dauert es einige Tage, bis die Auswertung vorliegt. »Aber manchmal dauert die Auswertung schon einmal ein halbes Jahr«, sagt Neidhardt. »Zum Beispiel, wenn wir Experimente mit unserer Antarktisstation O'Higgins durchführen. Wir können die Daten nicht über Satelliten senden, sondern sie müssen beim Personalaustausch wirklich mitgenommen werden.«

Nach der Korrelation werden die Daten an Analysezentren weitergegeben, wo dann die eigentlichen wissenschaftlichen Produkte erzeugt werden: Erdrotationsparameter, Verschiebungsvektoren, Referenzrahmen und Veränderungen.

### Der Nutzen der VLBI für die Geodäsie

Die VLBI-Daten tragen zum Internationalen Terrestrischen Referenzrahmen (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) bei. Sein Ursprung ist der Massenmittelpunkt der Erde, eine der Achsen verläuft parallel zur Rotationsachse der Erde. Die beiden anderen Achsen befinden sich in der Äquatorebene, eine beim nullten Längengrad und eine senkrecht dazu.

Doch Geodäten reicht die derzeitige Genauigkeit hier noch nicht so recht. »Wir wollen den ITRF auf einen Millimeter genau«, sagt Harald Schuh. »Ein Referenzrahmen sollte nämlich um mindestens einen Faktor 10 genauer sein als das Phänomen, das ich messen will.« Diese Genauigkeit wird dann wichtig, wenn es beispielsweise um die Messung des Meeresspiegelanstiegs geht, der derzeit einige Millime-

ter pro Jahr beträgt. Dafür müssten die Basislinien auf unter einem Millimeter genau vermessen werden.

Die Arbeit an der Genauigkeit der Basislinien ist das eine. Es gibt aber noch einen weiteren Nutzen des VLBI, bei dem dieses Verfahren verglichen mit allen anderen geodätischen Verfahren quasi unschlagbar ist. VLBI ist derzeit die einzige Technik, mit der Daten der Erdrotation mit hoher Genauigkeit vermessen werden können. Dafür werden beispielsweise in Wettzell und an anderen Stationen 1-Stunden-Messungen durchgeführt, die quasi die Zeit aus der Erdrotation minus die Atomzeit messen: UT1-UTC. Nötig ist das, weil die Erde lang nicht so gleichförmig rotiert wie die Zeit einer Atomuhr. Zudem ist die Drehung der Erde in 24 Stunden ein klein wenig langsamer, als bei der Definition der Sekunde angenommen wurde. Das »klein wenig« wird deshalb als Schaltsekunde zur koordinierten Weltzeit UTC hinzugefügt, die aus Atomuhren erzeugt wird, bevor die Abweichung UT1-UTC eine ganze Sekunde überschreitet.

Die Tatsache, dass Geodäten nur mit Hilfe von VLBI die Erdrotationszeit UT1 hochgenau erfassen können, hat auch Auswirkungen auf unser alltägliches Leben – oder hätte, wenn man das ganze Verfahren aus irgendeinem Grund einstellen sollte. Alle Satellitentechniken würden darunter leiden, vor allem die Positionsbestimmung und Navigation mit GNSS auf der Erde und im Weltraum. Auch Astronomen wären nicht begeistert, da jedes ihrer Teleskope die Erdrotation für Beobachtungen jenseits eines »Schnappschusses« ausgleichen muss. Außerdem wäre dann der Abgleich zwischen UT1 und UTC nicht mehr möglich und müsste optisch bewerkstelligt werden. »Im Prinzip ist VLBI die Technik, die für die Position die am weitest entfernten und stabilsten Objekte benutzt. Das heißt, wenn sich Erde und die Satelliten im Bezug auf das himmelfeste Koordinatensystem verschieben würden, kann man es aus den Satellitendaten nicht herauslesen. VLBI nimmt aber die äußerst mögliche Referenz, die Quasare, und sieht diese Verschiebungen«, sagt Alexander Neidhardt.

Somit haben die Quasare und ihre supermassereichen Schwarzen Löcher nicht nur eine ganze Menge mit der Erdrotation, sondern auch mit unserem alltäglichen Leben zu tun – und das ist dank der VLBI auch ganz gut so.

**Kontakt:** f.konitzer@gmail.com