

# DORIS und der Dopplereffekt

Franziska Konitzer

■ Seit über dreißig Jahren können mit dem geodätischen Weltraumverfahren DORIS die Bahnen von Satelliten bestimmt werden. Auch zum internationalen terrestrischen Referenzrahmen ITRF trägt es bei.

Heutzutage scheint die Antwort auf viele Fragen – als da wären: Wo bin ich? Wo muss ich hin? Wo ist mein Satellit? Und wie finde ich das heraus? – pauschal zu lauten: GNSS. Unter den geodätischen Raumverfahren ist GNSS vor allem für Laien das bekannteste aller Verfahren – oder haben Ihre Bekannten schon einmal etwas von VLBI, SLR oder DORIS gehört? Der mangelnde Bekanntheitsgrad in der Allgemeinbevölkerung allerdings tut diesen Verfahren Unrecht. Denn sie alle haben ihren Platz als geodätische Weltraumverfahren, die ihren Beitrag leisten, auch zum internationalen terrestrischen Referenzrahmen ITRF.

Während sich der letzte Beitrag zu den geodätischen Weltraumverfahren mit der Very Long Baseline Interferometry, kurz VLBI, auseinandergesetzt hat, soll diesmal geklärt werden, was es mit DORIS auf sich hat: Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite.

## DORIS als geodätisches Weltraumverfahren

»Wo ist mein Satellit?« Diese Frage war auch schon relevant, bevor GPS und Co. ihren Siegeszug bis hin in Smartphones und smarte Geräte für den Privatgebrauch aller Art angetreten haben. Um Bahnen von Satelliten zu bestimmen, haben Satellitenbetreiber unter anderem den Dopplereffekt benutzt. Es ist jener physikalische Effekt, bei dem sich die Wellenlänge eines auf uns zukommenden Objekts verkürzt und sich die Wellenlänge eines von uns entfernenden Objekts verlängert. In Frequenzen ausgedrückt ist es genau umgekehrt: Die Frequenz eines auf uns zukommenden Objekts wird höher, die eines sich entfernenden Objekts niedriger.

Ein beliebtes Beispiel im akustischen Bereich ist der Krankenwagen mit Sirene. In diesem Fall sind die Schallwellen dopplerverschoben. Für elektromagnetische Wellen ist ein nicht weniger relevantes Beispiel das Universum selbst. Da sich auf großen Längenskalen alle Objekte von unserem Standpunkt aus weg bewegen, ist ihr Licht rotverschoben. Diese Rotverschiebung wiederum dient Astronomen als eine Art Entfernungsmessung. Und sogar Exoplaneten kann man mit Hilfe des Dopplereffekts ausfindig machen.

DORIS selbst wurde seit den frühen 1980er Jahren von der französischen Raumfahrtagentur CNES zusammen mit dem Institut national de l'information géographique et forestière IGN sowie der Forschungsgruppe für Satellitengeodäsie GRGS geplant. Ab Mitte der 1980er Jahre wurde dann das DORIS-Netzwerk auf der Erde aufgebaut. Zwar



Bild: Institut Géographique National (IGN)

Die Bodenstationen des DORIS-Netzwerks sind homogen über den Globus verteilt. Eine von ihnen befindet sich in Adélieland in der Antarktis.

wurden auch schon vorher die Bahnen von Satelliten mit Hilfe des Dopplereffekts bestimmt. Doch schickten in diesem Fall die Satelliten selbst ihre Signale gen Erde.

DORIS dreht den Spieß um. Hier sind es die Bodenstationen selbst, die als Sender dienen. Funksignale im Radiobereich des elektromagnetischen Spektrums werden auf zwei Frequenzen – 401,25 MHz und 2036,25 MHz – zu einem mit einem entsprechenden Empfänger ausgerüsteten Satelliten gesendet.

## Der Dopplereffekt und die Bodenstationen von DORIS

Nun kommt der Dopplereffekt ins Spiel. Befindet sich der Satellit gerade senkrecht über einem Sender, sind die gesendete Frequenz und die vom Satelliten empfangene Frequenz gleich. Nähert sich der Satellit einem Sender an, ist die Frequenz des empfangenen Signals größer als die Frequenz des gesendeten Signals. Entfernt sich der Satellit von einem Sender, ist die Frequenz des empfangenen Signals niedriger als die Frequenz des ausgesendeten Signals. Es ist wie beim Krankenwagen auf der Straße und den Schallwellen, nur eben mit Radiowellen und Satelliten im All. Anschließend können die Satelliten ihre empfangenen Signale zu einer Bodenstation senden, wo die Daten weiterverarbeitet werden.

Damit das funktioniert und man die Bahnen der Satelliten mit Hilfe dieser Technik zuverlässig bestimmen kann, braucht es ein weltweites Netzwerk an Sendestationen. Derzeit verfügt das DORIS-Netzwerk über rund sechzig derartigen Stationen, vom russischen Krasnojarsk über sehr viele Inseln – beispielsweise Betio, die Amsterdam-Insel oder die abgelegenste bewohnte Insel der Welt, Tristan da Cunha, – bis hin zum Basecamp am Mount Everest. Auch am Geodätischen Observatorium Wettzell befindet sich eine DORIS-Antenne.



Bild: Institut Géographique National (IGN)

Das DORIS-Netzwerk, Stand 2020: An einigen Standorten von DORIS-Stationen sind mehrere geodätische Weltraumverfahren angesiedelt – wie zum Beispiel am Geodätischen Observatorium Wettzell.

### DORIS an Bord von Erdbeobachtungssatelliten

1986 ging DORIS zunächst mit 32 derartiger Stationen in Betrieb. 1990 war es dann so weit: Der Erdbeobachtungssatellit Spot-2 der französischen Raumfahrtbehörde CNES startete in eine Erdumlaufbahn. 1992 folgte Topex/Poseidon der NASA und der CNES. Ziel dieser Mission war, die Höhe des Meeresspiegels zu vermessen. Das Verdienst von DORIS und anderen Verfahren wie GNSS und SLR ist, dass mit ihnen die Radialkomponente der Position in der Umlaufbahn von Altimetriesatelliten mit einer Genauigkeit von sechs bis neun Millimetern bestimmt werden kann. Diese Information mit dieser Genauigkeit und dieser Stabilität zu gewährleisten, ist unerlässlich, wenn die Höhe der Meeresoberfläche erfasst werden soll.

Seit den Anfängen des Dienstes hat es natürlich Verbesserungen und technische Fortschritte gegeben. Waren zu Beginn die Satelliten nur mit einem Einkanal-Empfänger ausgestattet, konnten also nur das Signal einer einzigen Bodenstation empfangen, waren es später Zweikanal-Empfänger. Heutzutage sind bis zu sieben Kanäle gleichzeitig möglich, wobei ein Satellit natürlich nicht immer sieben Bodensender gleichzeitig sieht. Auch die Antennen haben sich weiterentwickelt – von den Antennen selbst bis hin zu ihrer Verankerung im Erdboden dient alles dazu, DORIS noch genauer zu machen.

»GNSS ist sicherlich ein sehr großer Konkurrent«, sagt Frank Lemoine, Vorsitzender des Internationalen DORIS Service, vom NASA Goddard Space Flight Center. »Und DORIS ist das kleinste der geodätischen Weltraumverfahren.«

Sieht man die Liste der Satelliten durch, die DORIS-Empfänger an Bord haben, wird schnell klar, dass es hier in erster Linie um Erdbeobachtung geht: die JASON-Satelliten, ENVISAT, Cryosat2. Vor allem bei der Vermessung der Meeresspiegelhöhe hat sich DORIS bereits verdient gemacht. Da das Verfahren schon vor GNSS an Bord von Satelliten voll im Einsatz war, liefert es eine Kontinuität an

Daten, die allein mit GNSS nicht mehr zu bekommen ist. Diese Satelliten verwendeten ihren DORIS-Empfänger als Zusatzgerät neben GNSS und dem Satellite Laser Ranging SLR. Es ist damit ein komplementäres Verfahren. Das ist gerade bei solchen Missionen wie für die Messungen des Meeresspiegels wichtig, da all diese Verfahren trotzdem fehlerbehaftet sind und DORIS andere Fehlerquellen als GNSS oder SLR aufweist. Somit gleicht es sich aus und die Erkenntnisse aufgrund von DORIS sind wertvoll, obwohl die Genauigkeit des Verfahrens etwas geringer ist als die von SLR oder GNSS. Sie beträgt etwa zwei Zentimeter in der Radialkomponente der Umlaufbahn.

### DORIS und der ITRF

So trägt DORIS seit 1994 mit den Positionen seiner Bodenstationen auch zum Internationalen terrestrischen Referenzrahmen ITRF bei. Es kann dreidimensionale Positionen und Geschwindigkeiten seiner Stationen mit einer Präzision von Zentimetern und Millimetern pro Jahr liefern. Einen Vorteil bietet DORIS, weil seine Stationen auf der ganzen Welt homogen verteilt sind: »Es hilft so, das System über die Welt zu verteilen«, erklärt Frank Lemoine.

### Die Zukunft von DORIS

Seit einiger Zeit ist die vierte Generation von Antennen für DORIS im Einsatz – das betrifft die Bodenstationen. Im All ist der jüngste Satellit, der mit einem DORIS-Empfänger ausgestattet ist, der Sentinel-6 »Michael Freilich« der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Er startete am 21. November 2020 ins All. Die Sentinel-3-Satelliten verwenden ebenfalls das DORIS-System. Auch der chinesische Satellit HY-2C hat einen DORIS-Empfänger an Bord und Einsätze auf weiteren Satelliten, vor allem für die Satellitenaltimetrie, sind in Planung.

Kontakt: f.konitzer@gmail.com