



Bundesamt für  
Kartographie und Geodäsie



**BKG**

Wir geben Orientierung.

# Geodätisches Observatorium Wettzell

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie  
und Technische Universität München

# Geodätisches Observatorium Wettzell

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie  
und Technische Universität München

Seit das Geodätische Observatorium Wettzell den Messbetrieb 1972 aufnahm, konnte es seine Bedeutung kontinuierlich steigern. 2020 folgte die offizielle Einstufung als eine „kritische Infrastruktur“ – nicht ohne Grund. Wir leisten einen wichtigen Beitrag zum Funktionieren der Satellitennavigation und sorgen für neue Erkenntnisse in der Wissenschaft.

Dies erreichen wir zusammen mit unseren Kollegen von der Technischen Universität München. Die Zusammenarbeit sorgt für Entwicklungsdynamik. Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie gewährleistet den langfristigen Betrieb. So sorgen wir gemeinsam für hochwertige Messungen am Puls der Zeit.

Bereits als Student reiste ich übrigens nach Wettzell. Ein Kommilitone erwähnte schon damals, dass dies hier doch genau die richtige Tätigkeit für mich sei. 16 Jahre später war es dann soweit. In der Tat ist die Arbeit auf diesem Observatorium weltweit beinahe einmalig und sehr abwechslungsreich. Genau davon geben Ihnen die nachfolgenden Seiten einen Eindruck. Und selbstverständlich dürfen Sie uns auch hier besuchen, wenn Sie mehr erfahren möchten.

Ihr 

Prof. Dr. Torben Schüler  
Leiter des Geodätischen Observatoriums Wettzell

## Vorwort

Prof. Dr. Torben Schüler

---



# Spitzentechnik für Spitzenleistung

Wetzell im Bayerischen Wald, Greenbelt in den USA und Yarragadee in Westaustralien: Geowissenschaftler bekommen leuchtende Augen, wenn sie diese Namen hören. So klein die Orte sind und so weit weg von den Metropolen der Welt, haben sie trotzdem großen Einfluss auf unser aller Leben. Nur fünf weitere Observatorien weltweit haben ebenso viel Messtechnik zu bieten wie Wetzell. Gemeinsam bilden sie die Grundlage für die Geodäsie, die Wissenschaft der Vermessung und Abbildung der Erde. Sie bilden die Grundlage für die Antwort auf jede Frage, die mit „Wo?“ beginnt.

Auf dem Geodätischen Observatorium Wetzell ist so viel High-Tech in Sachen Erdvermessung versammelt wie sonst nirgends in Europa: Gemeinsam mit der TU München betreiben wir Radio- und Laserteleskope, Geräte zur Bestimmung der Gravitation, der Aktivität der Sonne und der Erdrotation ebenso wie Uhren, die zu den genauesten auf der Welt gehören.

Die Ergebnisse der Messungen fließen natürlich in die geowissenschaftliche Grundlagenforschung ein. Sie haben aber auch ganz praktische Anwendung im täglichen Leben. Ohne sie gäbe es zum Beispiel keine Satellitennavigation. Außerdem tragen sie dazu bei, den großen Herausforderungen unserer Zeit, wie etwa der Klimakrise, zu begegnen. Forscher wissen genau, wie stark der Meeresspiegel in welcher Küstenregion ansteigt, auch wenn es nur wenige Millimeter pro Jahr sind. Satellitengestützte Messverfahren machen es möglich.

Auch um Ereignisse im Weltraum kümmern wir uns in Wetzell. Es gilt beispielsweise, Sonnenstürme rechtzeitig zu erkennen, um die Stromversorgung auf der Erde, Navigationssysteme, Radio- und Mobilfunktechnik vor Beschädigung zu schützen.



## Sicher ans Ziel

Fast jedes Mobiltelefon ist gleichzeitig ein Navigationsgerät und beides ist aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Innerhalb weniger Jahre ist es für uns selbstverständlich geworden, jederzeit präzise Positionsangaben zu haben und uns den Weg vom Telefon weisen zu lassen.

### Aber woher kennt das Telefon unsere Position?

Die Antwort lautet zunächst: Von Navigationssatelliten. Sie umkreisen die Erde und senden ihre Signale an Empfänger auf dem ganzen Globus. Soweit so einfach?

Nein, es ist noch viel mehr notwendig! So müssen die Lage und Orientierung der Erde als Ganzes im Weltraum bekannt sein. Denn die Bewegung unseres Planeten ist alles andere als gleichmäßig. Änderungen in der Rotationsgeschwindigkeit und Schwankungen der Rotationsachse der Erde werden deshalb mit Hilfe der eindrucksvollen Radioteleskope bestimmt. Sie stehen in geodätischen Observatorien weltweit und drei dieser Teleskope stehen auch in Wettzell.

Weiter geht es mit der Position der Satelliten. Auch diese muss exakt bekannt sein, wenn die Navigation auf der Erde funktionieren soll. Dafür gibt es Referenzstationen, die über den ganzen Globus verteilt sind. Diese Empfänger der Globalen Navigations-Satellitensysteme (GNSS) sehen unscheinbar aus, spielen aber eine wichtige Rolle. Aus der Laufzeit der Signale vom Satelliten zur Referenzstation lässt sich die genaue Position des Satelliten im All bestimmen. In Wettzell stehen zehn GNSS-Antennen, weltweit gibt es zehntausende davon. Zusätzlich werden die Bahnen der Navigationssatelliten mit Laserentfernungsmessungen kontrolliert.

Dass die Navigation überall auf der Erde so präzise funktioniert, ist nur durch internationale Zusammenarbeit möglich.

Wie genau diese Messmethoden funktionieren, lesen Sie ab Seite 12.



# High-Tech für Klima und Wetter

Die Anzeichen, dass sich die Klimakrise beschleunigt, spüren wir alle. Es gibt deutlich mehr extreme Wetterereignisse wie Dürre und Starkregen und auch der Meeresspiegel steigt an. Zwar nur um wenige Millimeter pro Jahr, doch die summieren sich rasch auf. Um einen Anstieg von wenigen Millimetern der riesigen Wasseroberfläche zu messen, gibt es spezielle Altimeter-Satelliten. Sie senden Radarpulse senkrecht nach unten, die von der Wasseroberfläche zurück zum Satelliten reflektiert werden. Aus der Laufzeit der Radarpulse lässt sich der Abstand zwischen Satellit und Wasseroberfläche sehr genau bestimmen. Die Eis-Altimetrie funktioniert ganz ähnlich; mit ihr wird gemessen, wie viel Eis zum Beispiel in den Polarregionen schmilzt.

Um mit diesen Streckenmessungen Höhen und Höhenänderungen zu berechnen, muss auch die Position der Altimeter-Satelliten jederzeit präzise bestimmt werden. Auch hierfür werden die Navigations-Satellitensysteme und die Laserentfernungsmessungen verwendet. Als Teil des globalen Netzes von Referenzstationen trägt die Station in Wettzell dazu bei, die Satellitenbahnen mit der notwendigen Genauigkeit und langjährigen Stabilität zu bestimmen, um Prozesse des globalen Klimawandels beobachten zu können.

Darüber hinaus wird die Tatsache genutzt, dass die Signale der Navigationsatelliten empfindlich auf den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre reagieren. Diese Analysen fließen deshalb in die Wettervorhersage mit ein.

Eine weitere Möglichkeit, die Verschiebung der Wassermengen auf dem Globus nachzuvollziehen, sind Messungen des Erd-Schwerefeldes mit Gravimetern. Am Geodätischen Observatorium messen wir den Absolutwert der Schwerebeschleunigung, aber auch kleinste Veränderungen.



## Wetter und Schrott im Weltraum

Wetter findet nicht nur in der Erdatmosphäre sondern auch im erdnahen Weltraum statt. Das sogenannte Weltraumwetter wird maßgeblich von der Sonne bestimmt und die beobachten wir in Zukunft mit der Hightech-Messtechnik in Wettzell.

Die Sonne gibt geladene Teilchen ab, den sogenannten Sonnenwind. Meist bleibt er ohne größere Folgen. Manchmal wird er jedoch zum Sonnensturm und damit zur Gefahr für unsere hochtechnisierte und vernetzte Welt. Die Stromversorgung, Navigationssysteme und natürlich auch Satelliten aller Art können dadurch erheblich gestört oder gar beschädigt werden.

Mit dem Sonnenbeobachtungsteleskop messen wir zukünftig, wie intensiv die Radiostrahlung ist, die von der Sonne ausgeht. Die Messwerte dienen zur Vorhersage von Sonnenstürmen und zur Abschätzung des Gefahrenpotentials. So können Instrumente am Boden und im Weltall rechtzeitig abgeschaltet und vor Schäden geschützt werden.

Es gibt aber noch eine zweite Gefahr im Weltraum, die zunehmend zum Problem wird: Trümmerteile – sogenannter Weltraumschrott – beispielsweise von früheren Raumfahrtmissionen. Mit der Laserentfernungsmessung können die Bahnen der Trümmerteile bestimmt werden. Diese Messdaten können dazu beitragen, Satelliten und Raumstationen rechtzeitig vor Kollisionen zu warnen. So haben sie die Möglichkeit, sich durch Korrektur ihrer Umlaufbahnen in Sicherheit zu bringen. Außerdem können die Menschen auf der Erde bei einem unkontrollierten Wiedereintritt von Weltraumtrümmern in die Atmosphäre gewarnt werden.



Die drei Radioteleskope | Seite 14/15



Der Ringlaser | Seite 22/23

Die drei Radioteleskope | Seite 14/15

Das Gravimeterhaus | Seite 26/27

Das Sonnenbeobachtungsteleskop | Seite 24/25

Die Laser-Messsysteme | Seite 16/17

Die Laser-Messsysteme | Seite 16/17

Die Globalen Navigations-Satellitensysteme | Seite 18/19

Das DORIS-System | Seite 20/21



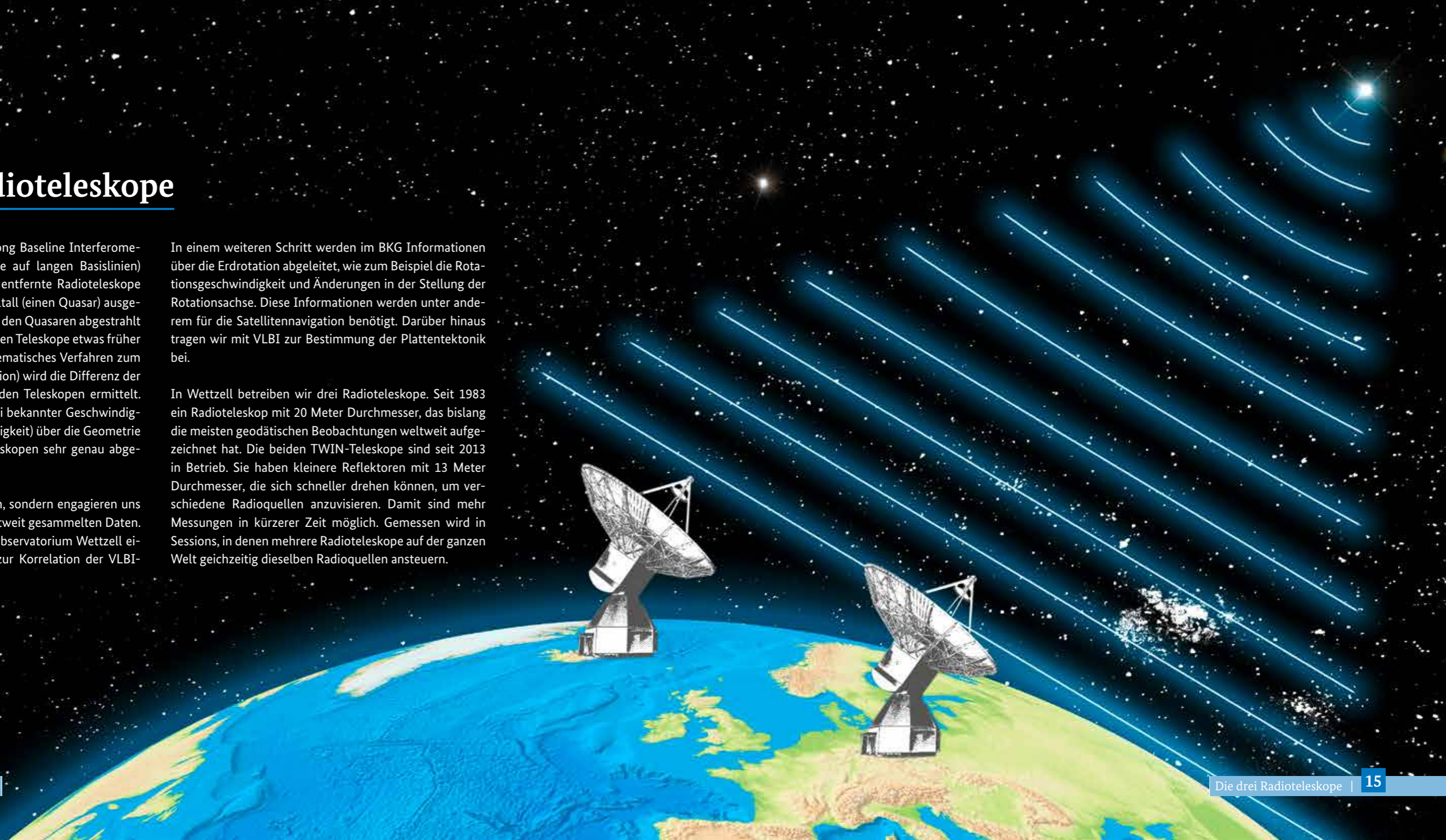
## Die drei Radioteleskope

Mit dem Verfahren der „Very Long Baseline Interferometry“ (VLBI, Radiointerferometrie auf langen Basislinien) werden zwei weit voneinander entfernte Radioteleskope auf dieselbe Radioquelle im Weltall (einen Quasar) ausgerichtet. Die Radiowellen, die von den Quasaren abgestrahlt werden, erreichen eines der beiden Teleskope etwas früher als das andere. Durch ein mathematisches Verfahren zum Vergleich von Signalen (Korrelation) wird die Differenz der Ankunftszeiten des Signals an den Teleskopen ermittelt. Aus dieser Zeitdifferenz wird bei bekannter Geschwindigkeit des Signals (Lichtgeschwindigkeit) über die Geometrie der Abstand zwischen den Teleskopen sehr genau abgeleitet.

Wir liefern aber nicht nur Daten, sondern engagieren uns auch in der Auswertung der weltweit gesammelten Daten. Dazu besitzt das Geodätische Observatorium Wettzell einen leistungsfähigen Rechner zur Korrelation der VLBI-Daten.

In einem weiteren Schritt werden im BKG Informationen über die Erdrotation abgeleitet, wie zum Beispiel die Rotationsgeschwindigkeit und Änderungen in der Stellung der Rotationsachse. Diese Informationen werden unter anderem für die Satellitennavigation benötigt. Darüber hinaus tragen wir mit VLBI zur Bestimmung der Plattentektonik bei.

In Wettzell betreiben wir drei Radioteleskope. Seit 1983 ein Radioteleskop mit 20 Meter Durchmesser, das bislang die meisten geodätischen Beobachtungen weltweit aufgezeichnet hat. Die beiden TWIN-Teleskope sind seit 2013 in Betrieb. Sie haben kleinere Reflektoren mit 13 Meter Durchmesser, die sich schneller drehen können, um verschiedene Radioquellen anzuvisieren. Damit sind mehr Messungen in kürzerer Zeit möglich. Gemessen wird in Sessions, in denen mehrere Radioteleskope auf der ganzen Welt gleichzeitig dieselben Radioquellen ansteuern.





## Die Laser-Messsysteme

Um Entfernungen mit Lasern zu messen, werden kurze Lichtpulse in den Weltraum ausgesendet. Ziel sind Reflektoren auf dem Mond oder an Satelliten. Das Licht wird von den Reflektoren zurückgeworfen und an der Messstation wieder detektiert. Die Lichtgeschwindigkeit ist bekannt; deshalb kann aus der Zeit, die zwischen Senden und Empfangen des Laserpulses vergeht, die Strecke berechnet werden, die das Licht zurückgelegt hat. Daraus kann wiederum der Abstand zum Satelliten, respektive zum Mond, abgeleitet werden.

Mit diesen Messungen von verschiedenen global verteilten Stationen können Satellitenbahnen, die Erdrotation, die Koordinaten der Beobachtungstationen und das Massenzentrum der Erde sehr genau bestimmt werden. Messungen zu Satelliten dienen beispielsweise als unabhängiges Überprüfungsverfahren für deren Bahnen, die sowohl für Navigationssysteme als auch für Erdbeobachtungssatelliten gebraucht werden.

Am Geodätischen Observatorium Wettzell betreiben wir zwei Laserentfernungsmesssysteme. Mit dem Wettzell Laser Ranging System, das seit 1990 in Betrieb ist, können Entfernungen zu Satelliten sowie zum Mond gemessen werden. Das Satellite Observing System Wettzell ist seit 2015 in Betrieb und besonders für schnelle Satelliten in niedrigen Orbits ausgelegt. Beide Systeme können die Entfernung eines Satelliten, der die Erde in 20.000 Kilometern Höhe umkreist, auf unter einen Zentimeter genau bestimmen.

# Die Globalen Navigations-Satellitensysteme

Für eine Messung braucht ein GNSS-Empfänger mindestens vier Satelliten. Sie übermitteln ihre Position und die Uhrzeit. Am Empfänger kann die Laufzeit des Signals und damit die Distanz zwischen Empfänger und Satellit bestimmt werden.

Die Genauigkeit von GNSS-Positionsbestimmungen hängt wesentlich von der genauen Kenntnis der Satellitenbahnen ab. Hierzu dienen Netzwerke mit permanent beobachtenden Stationen, so genannten Referenzstationen. Wettzell ist eine dieser weltweit verteilten Referenzstationen für

GNSS. Auf dem Observatorium befinden sich mehrere Empfänger für die Navigationssatelliten. Außerdem betreiben wir im Rahmen des GNSS Operation Center von Wettzell aus weltweit etwa 20 weitere GNSS-Stationen.

Ihre Daten dienen dann beispielsweise zur Bestimmung der Satellitenbahnen. Aber auch Erdrotationsparameter und Informationen über die Atmosphäre, wie ihr Wasserdampfgehalt oder ihre elektrischen Eigenschaften, werden aus den GNSS-Signalen abgeleitet.

GPS (Global Positioning System) hat sich zwar als Synonym für die Positionsbestimmung durchgesetzt; es gibt aber eine Vielfalt an Globalen Navigations-Satellitensystemen (GNSS), deren Daten sogar Ihr Mobiltelefon empfangen kann:

- GPS, betrieben von den USA
- Galileo, betrieben von der Europäischen Union
- Glonass, betrieben von der Russischen Föderation
- Beidou, betrieben von der Volksrepublik China

# Das DORIS-System

Beim DORIS-System (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) ist die Konfiguration umgekehrt wie bei Globalen Navigations-Satellitensystemen: Die Radiosignale werden nicht vom Satelliten abgestrahlt, sondern von der Bodenstation. Damit die Ergebnisse besonders genau werden, sendet die Antenne Signale auf zwei Frequenzen aus. In der Umlaufbahn werden sie von speziellen Messeinheiten auf den Satelliten registriert. Die Bewegung der Satelliten verursacht durch den Dopplereffekt eine Veränderung der Frequenzen der aufgezeichneten Radiowellen. Aus dieser Frequenzverschiebung können die Bahn und die Geschwindigkeit des Satelliten abgeleitet werden. Die Messdaten werden zur Erde gesendet. Genauer gesagt nach Toulouse in Frankreich, wo die Daten von der französischen Weltraumbehörde empfangen und analysiert werden.

Mit der DORIS-Antenne sind wir Teil eines internationalen Netzwerks von 60 Bodenstationen. Sie sind gleichmäßig um den Globus verteilt und leisten deshalb einen besonders wichtigen Beitrag für die verschiedensten Bezugssysteme in den Geowissenschaften.

Mit DORIS lassen sich die Bahnen von Satelliten bestimmen, zum Beispiel die der Altimetersatelliten, die auf Seite 8 erwähnt sind. So trägt das System seit mehr als 25 Jahren dazu bei, die Höhe des antarktischen Eisschildes zu überwachen oder auch Veränderungen in der Höhe des Meeresspiegels.

## Der Ringlaser

Der Großringlaser ist einer der wenigen seiner Art weltweit und wurde über viele Jahre am Geodätischen Observatorium Wettzell entwickelt. Er dient der Bestimmung von Änderungen der Erdrotation und benötigt im Gegensatz zu den anderen Verfahren keine externen Orientierungspunkte wie Satelliten oder Quasare.

Der Ringlaser besteht aus einem vier mal vier Meter großen System, in dem zwei Laserstrahlen in entgegengesetzter Richtung umlaufen. Ein Strahl läuft mit der Erdrotation und hat daher einen etwas längeren Weg als der Strahl, der gegen die Erdrotation läuft. Aus der Überlagerung beider Strahlen können unter anderem Änderungen in der Rotationsgeschwindigkeit der Erde und die Bewegung der Rotationspole abgeleitet werden. So lassen sich Änderungen der Tageslänge von 0,1 Millisekunden beobachten.

Um diese Genauigkeit zu erreichen befindet sich der Ringlaser in einem unterirdischen Labor, das ihn vor Umwelteinflüssen wie Temperaturschwankungen abschirmt.



# Das Sonnenbeobachtungsteleskop

Unsere Sonne gibt andauernd energiereiche Strahlung sowie geladene Teilchen ab. Letztere bilden den sogenannten Sonnenwind, dessen schönste Ausprägung die Polarlichter sind. Das Solar-Flux-Teleskop misst die Radiowellen, die von der Sonne abgestrahlt werden. Ein stärkerer Sonnenwind geht auch mit stärkerer Radiostrahlung einher. Bei Nacht, wenn die Sonne nicht zu sehen ist, wird das Teleskop außerdem dazu verwendet, die Signale von Navigationssatelliten, wie zum Beispiel Galileo, zu charakterisieren.

Früher haben Wissenschaftler laufend die Sonnenflecken abgezählt um die Aktivität der Sonne zu bestimmen, aber Messungen mit einem Teleskop sind natürlich objektiver. Die Messungen des Solar-Flux-Teleskops liefern einen wichtigen Parameter für Modelle, die vorausberechnen, wie sich das Weltraumwetter auf die Erde auswirkt. Die regelmäßige Messung trägt auch dazu bei, Weltraumwetterereignisse präziser vorherzusagen.

Ausbrüche auf der Sonne können den Sonnenwind verstärken. Die Radiostrahlung, die dabei ausgesendet wird, erreicht die Erde nach acht Minuten. So lange dauert es, bis das Signal die Strecke von der Sonne bis zur Erde mit Lichtgeschwindigkeit zurückgelegt hat. Mit unserem Teleskop können wir die Radiostrahlung messen und sind so vorgewarnt, denn der eigentliche Sonnensturm, der Schäden verursachen kann, trifft erst mit einer gewissen Verzögerung ein.



## Schweremessungen im Gravimeterhaus

Gravimeter messen die Erdanziehung. Mit supraleitenden Gravimetern können auch die kleinsten Schwankungen registriert werden, so auch in Wettzell. Supraleitung ist erreicht, wenn ein Strom ohne elektrischen Widerstand fließt. Dazu sind Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt notwendig. Deshalb wird die Messung in einem Gefäß mit flüssigem Helium durchgeführt. Dort schwebt eine Hohlkugel in einem Magnetfeld. Änderungen der Schwerkraft werden durch kleinste Änderungen des Magnetfeldes kompensiert. Gemessen wird der elektrische Strom, der dafür notwendig ist. Variationen der Schwerebeschleunigung können verschiedene Ursachen haben: Gezeitenkräfte, Schwankungen der Erdrotation oder auch Variationen im Wasserhaushalt des Untergrundes sowie Höhenänderungen.

Die Gravimeterstation des Observatoriums Wettzell dient auch als Referenzstation für die nationalen Schwerenetze des Bundes und der Länder. Dafür werden regelmäßig die absoluten Werte der Schwerebeschleunigung bestimmt, indem der freie Fall einer Testmasse im Vakuum beobachtet wird. Die Ergebnisse von Absolut- und Relativmessung fließen in die Schwerereferenzfunktion. Sie liefert zu jedem Zeitpunkt einen absoluten Referenzschwerewert mit höchster Genauigkeit und erlaubt die Kontrolle der Gravimeter.



## Wie alles zusammenhängt

Ein Observatorium, von lateinisch observare, „beobachten“ ist ein Ort, um naturwissenschaftliche Phänomene zu beobachten. Die in Wettzell durchgeführten Beobachtungen decken viele Facetten der Geodäsie ab. Damit rückt der kleine Ort am Rande Bayerns in den Fokus der geodätischen Weltgemeinschaft, denn Wettzell ist eine von weltweit nur sechs Stationen, auf denen alle vier geodätischen Raumverfahren an einem Ort betrieben werden:

- Radiointerferometrie auf langen Basislinien, Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ●
- Laser-Entfernungsmessung, Satellite Laser Ranging (SLR) ●
- Global Navigation Satellite System (GNSS) ●
- Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) •

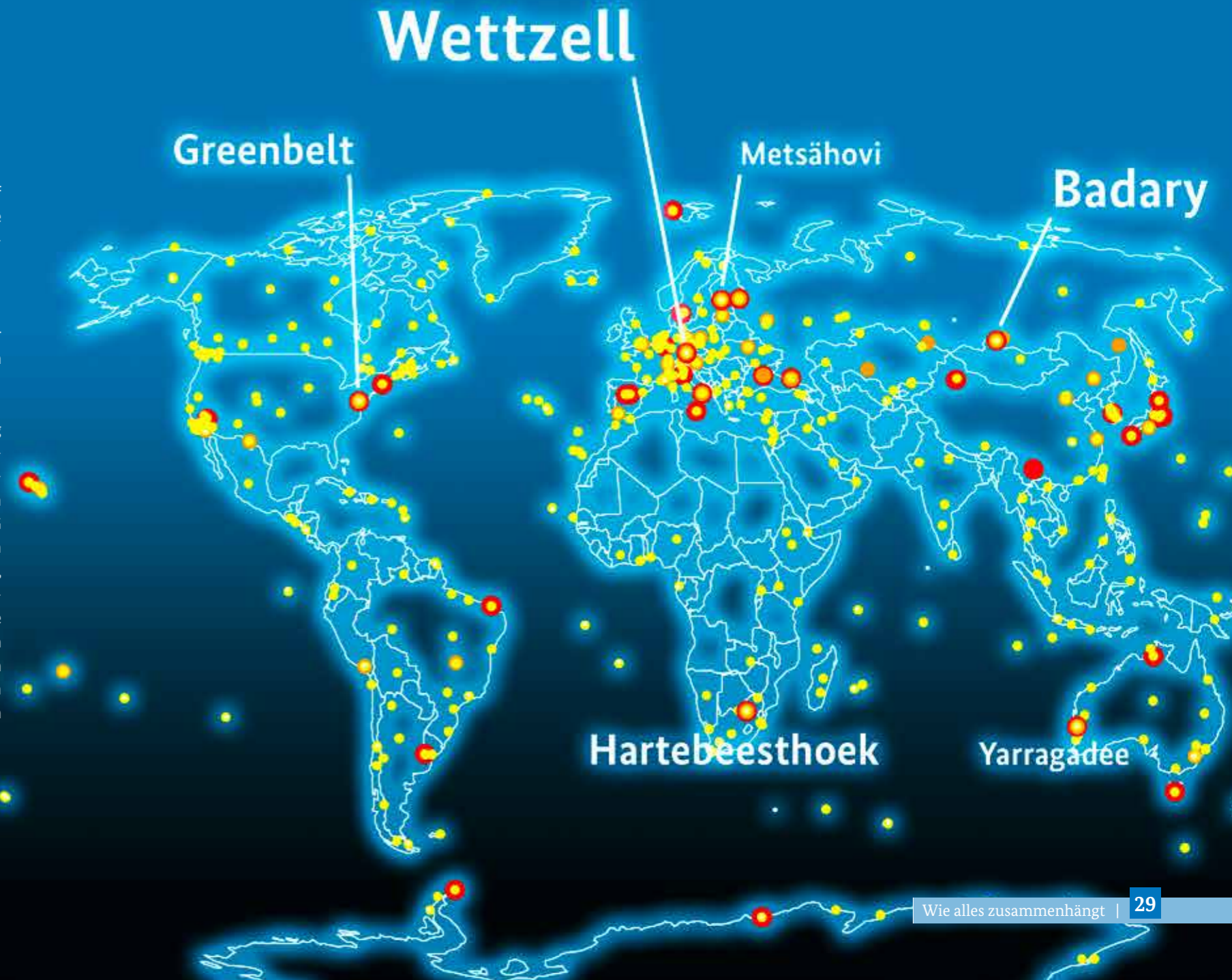
Die herausragende Stellung von Wettzell wird durch den Betrieb von Gravimetern noch verstärkt. Das Zusammenspiel verschiedener Verfahren liefert Erkenntnisse für die großen gesellschaftlichen Fragestellungen. So verwenden Klimaforscher GNSS- und Gravimeter-Daten. Für die Präzisions-Navigation ist es wichtig, die taumelnde Bewegung der Erde durch das Weltall exakt zu beschreiben.

Dazu tragen die Ergebnisse der Radiointerferometrie auf langen Basislinien (VLBI) bei. Sie zeigen, wie sich die Lage der Drehachse der Erde verändert und auch ihre Drehgeschwindigkeit.

### Gemeinsam stark

Klima und Navigation stehen hier nur stellvertretend für unzählige Themen, zu denen Geodäten weltweit einen entscheidenden Beitrag leisten.

Geodäsie ist Teamwork, sowohl bei der Datenerzeugung als auch bei der Datenauswertung. Erst die Zusammenarbeit verschiedener Observatorien und Datenverarbeitungszentren rund um den Globus führt zu wertvollen Daten und Produkten. Deshalb beteiligen wir uns als BKG auch an vielen internationalen Diensten, zum Beispiel dem International VLBI Service for Geodesy and Astrometry, dem International Laser Ranging Service und dem International GNSS Service. Diese Dienste koordinieren die Beobachtungen der verschiedenen Stationen, organisieren die Sammlung der Daten, stellen die Qualität der Daten sicher und koordinieren deren Weiterverarbeitung. Zudem werden die Daten und Produkte für die Nutzer zugänglich gemacht.





### **Kontakt & Impressum**

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)  
www.bkg.bund.de  
mailbox@bkg.bund.de

Zentrale Dienststelle Frankfurt am Main  
Richard-Strauss-Allee 11  
60598 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 6333-1

Außenstelle Leipzig  
Karl-Rothe-Straße 10-14  
04105 Leipzig  
Telefon: 0341 5634-0

Geodätisches Observatorium Wettzell  
Sackenrieder Straße 25  
93444 Bad Kötzing  
Telefon: 09941 603-0

### **Herausgeber, Konzeption und Redaktion**

© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2022

Sofern nicht anders angegeben, stammen alle verwendeten Bilder vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.



### **Druck**

Silber Druck oHG, Lohfelden

Die Broschüre wurde auf FSC® Recycled Papier gedruckt. Außerdem wurde die Broschüre CO<sub>2</sub> neutral produziert.



[www.bkg.bund.de/gow](http://www.bkg.bund.de/gow)