



Messkampagne in lebensfeindlicher Umgebung: Die Eisstation ist meist von der Außenwelt abgeschnitten, die Versorgung ist schwierig. Die Ausrüstung wird in Kisten gegen Kälte und Nässe geschützt.

Das ganze Ausmaß der Antarktis

Ein satellitengestütztes Navigationssystem gibt Geowissenschaftlern millimetergenau Auskunft über Hebungs- und Senkungsbewegungen der Antarktis



Vierundzwanzig Satelliten, die auf sechs Bahnen in etwa 20 200 Kilometer Höhe die Erde umkreisen: Dieses Bild gehört zum satellitengestützten Navigationssystem der Vereinigten Staaten, das 1995 seine volle Ausbaustufe erreichte. Seitdem ist das so genannte Global Positioning System, kurz GPS, als wetterunabhängiges, weltweit und allzeit verfügbares sowie kostenfreies Hilfsmittel in der Navigation nicht mehr wegzudenken. Zwischen 1995 und 1998 schlossen sich mehrere deutsche Universitäten und Forschungsinstitute in Verbundprojekten zusammen, um mit Hilfe des GPS erstmalig die Koordinaten und Ge-

Antarktischen Halbinsel gelegenen Beobachtungspunkte. Damit werden Rückschlüsse auf die aktuelle tektonische Bewegung in diesem Gebiet ermöglicht. Besonders wichtig ist die Vermarkung von Messpunkten in der Antarktis, da diese über mehrere Jahre „stabil“ mit dem Untergrund verbunden sein müssen. Um dies zu gewährleisten, wurden Metallbolzen direkt in das anstehende Gestein eingebracht. Gerade bei der Erfassung von sehr kleinen tektonischen Verschiebungen im Millimeterbereich ist es

entscheidend, dass weder das Gestein noch der Messpunkt durch Witterungseinflüsse in Folge extremer Temperaturunterschiede bei direkter und indirekter Sonneneinstrahlung oder Frostsprengungen verändert werden. Horizontale Bewegungsraten – das heißt die Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung – sind inzwischen standardmäßig aus GPS-Beobachtungen mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit ableitbar. Diese Aussage gilt bisher jedoch nicht für die Bestimmung von Höhen und vertikalen

Bewegungsraten, die weitaus stärker von verschiedenen äußeren und systeminternen Faktoren beeinflusst sind. Hier setzt das am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe durchgeführte Projekt an, das sich der Höhenkomponente widmet und nach einer geeigneten Auswertungsstrategie sucht, um möglichst präzise Höhenangaben zu erhalten. Mit ihrer Hilfe können Hebungs- oder Senkungs-bewegungen für den Bereich der Antarktischen Halbinsel aus wiederholten Messungen abgeleitet werden.

Mit Hilfe von GPS-Messkampagnen gewinnen Geowissenschaftler neue Erkenntnisse über die tektonische Bewegung

Aussagen hinsichtlich der Höhenänderungen im antarktischen Bereich sind insbesondere im Kontext des Treibhauseffektes und damit zusammenhängender Größen, zum Beispiel dem Eismassenhaushalt in der Antarktis, von hohem, auch klimarelevantem Interesse.

Die von den GPS-Satelliten abgestrahlten elektromagnetischen Signale durchqueren auf ihrem Weg zu den Empfangsantennen die Erdatmosphäre und erfahren dabei Laufzeitverzögerungen durch verschiedene atmosphärische Komponenten. Zwei wichtige Atmosphärenbereiche lassen sich unterscheiden: die elektrisch geladene Ionosphäre und die neutrale Atmosphäre, welche sowohl die mit etwa

Mit dem ukrainischen Eisbrecher „Dranitsyn“ sind die Forscher in die Nähe einer Messstation gefahren. Gefährlich und anstrengend ist ihre Arbeit bei niedrigen Temperaturen, starkem Wind, Regen oder Schnee. Auch die Elektronik der GPS-Empfänger reagiert auf diese Bedingungen äußerst empfindlich. Gut angepasst an die Witterung in der Antarktis sind die Pinguine, denen die Wissenschaftler überall begegnen.



schwindigkeiten eines die gesamte Peripherie der Antarktis überdeckenden Feldes von markierten Punkten zu ermitteln. Um dieses wissenschaftliche Ziel erreichen zu können, wurden in den antarktischen Sommermonaten mehrere GPS-Messkampagnen durchgeführt und ausgewertet. Von hohem geowissenschaftlichem Interesse waren dabei die Bewegungsraten und die Bewegungsrichtungen der auf der erdbeben- und vulkanisch aktiven

zehn Kilometern mächtige erdnächste Schicht, die Troposphäre, als auch die daran anschließende und bis in eine Höhe von etwa fünfzig Kilometern reichende Stratosphäre umfasst. Da in der Troposphäre nahezu das gesamte Wettergeschehen abläuft, ist es naheliegend, die Laufzeitverzögerung in den erdnahen Atmosphärenschichten mittels meteorologischer Größen wie Temperatur, Luftdruck und Feuchte zu erfassen. Dabei wird entweder der Weg beschritten, kontinuierlich und zeitgleich zu den GPS-Messungen repräsentative meteorologische Größen zu registrieren, oder aber es wird versucht, basierend auf grundlegenden meteorologischen Annahmen, aus den GPS-Beobachtungen selbst die Beträge der Laufzeitverzögerungen zu ermitteln. Ist man nun bestrebt, hochpräzise Höhenkomponenten aus GPS-Beobachtungen abzuleiten, so muss man sich – neben der Elimination anderer Fehlereinflüsse – vor allem um eine bestmögliche Annäherung an die während der GPS-Messungen in der elektrisch neutralen Atmosphäre herrschenden meteorologischen Bedingungen bemühen. Da ein kostengünstiges Erfassen von repräsentativen und genauen Wetterdaten in der Umgebung von GPS-Beobachtungsstationen jedoch kaum möglich ist, wird üblicherweise der Modellierungsweg beschritten.

Werden Vermessungen mit Hilfe des GPS in polaren Gebieten durchgeführt, so können auf Grund der Bahncharakteristiken der GPS-Satelliten keine Signale im Bereich des lokalen Zenits der Beobachtungsstation empfangen werden. Dies wäre jedoch wünschenswert, da diese GPS-Signale auf Grund des kürzeren Weges die geringsten Laufzeitverzögerungen und Störungen aufweisen. Dieser Sachverhalt



macht es unumgänglich, auch horizontnah erfasste Signale bei der Auswertung zu nutzen. Diese schwächeren und bei routinemäßigen Auswertungen nicht verwendeten Signale besitzen jedoch deutlich schlechtere Eigenschaften, woraus sich zwangsläufig er-

neut Forderungen nach geeigneten Modellierungsstrategien bei der Nutzung dieser kritischen Datengrundlage ergeben.

Um diese und weitere Fragen zu klären, wurden von Januar bis Februar 2002 GPS-Messungen auf drei Stationen im nördlichen Bereich der Antarktischen Halbinsel durchgeführt.

Hierbei wurden im 24-stündigen Messturnus über drei Wochen hinweg mit einer Taktrate von fünf Sekunden die Signale aller GPS-Satelliten oberhalb des Horizonts aufgezeichnet. Mit einer durchschnittlichen Anzahl von acht Satelliten ergaben diese Einstellungen ein großes Datenvolumen pro Tag und Station und damit ein für diesen Teil der Erde einmalig hochauflösendes Datenmaterial. Um in einer so lebensfeindlichen Umgebung Messkampag-

Ein Container-Labor bietet zwölf Wissenschaftlern Platz zum Leben und Arbeiten. Hier findet die erste Auslese und Bewertung der Daten statt. Folgenreich kann der „Besuch“ einer GPS-Antenne sein. Eine Möwe („Skua“) schirmt die Signale ab und unterbricht so kurzfristig die Datenerfassung.

nen erfolgreich durchführen zu können, ist eine ausgefeilte Logistik ebenso zwingend wie eine durchdachte Planung. Denn antarktische Stationen werden hauptsächlich mit dem Schiff oder vom Hubschrauber aus versorgt. Die geodätische Ausrüstung bestand unter anderem aus GPS-Antenne, -Empfänger, Hand-Controller mit Speichermedium zur Datenaufzeichnung und Autobatterien samt Ladegeräten zur Stromversorgung. Bei den eigentlichen Messungen bereiteten die teilweise ex-

tremer klimatischen Verhältnisse der Antarktis die größten Schwierigkeiten. Unter diesen meteorologischen Bedingungen reagiert vor allem die Elektronik

der GPS-Empfänger äußerst empfindlich. Darüber hinaus wird die Batterieladung erheblich herabgesetzt. Um eine kontinuierliche Energieversorgung für die gesamte Dauer der GPS-Messungen, das heißt 24 Stunden pro Tag, gewährleisten zu können und ausreichende Planungssicherheit zu erhalten,

Um präzise Daten aus GPS-Beobachtungen zu erhalten, müssen alle Fehlerquellen zuverlässig beseitigt werden

wurden vor der Messkampagne verschiedene Simulationen in der Klimakammer durchgeführt. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mittels spezieller Speicherkarten, wobei ein schneller Kartenwechsel einen minimalen Datenverlust garantiert. Dies ist insofern wichtig, als auf allen Stationen für den Kartenwechsel die Datenaufzeichnung zeitgleich unterbrochen werden musste. Diese Vorgehensweise war notwendig, weil bei der Auswertung der Daten nach Beendigung der gesamten Messkampagne Differenzen zwischen simultan aufgezeichneten Beobachtungen von jeweils zwei Stationen gebildet werden. Der Vorteil besteht darin, dass durch die Differenzbildung eine Reihe von kritischen Fehlergrößen, wie zum Beispiel der Uhrfehler, das heißt die Zeitdifferenz zwischen Zeitskala des Satelliten und der des GPS-Empfängers, aus den Beobachtungen eliminiert werden. Nachdem in einem ersten Auswertungsschritt die erfassten Daten auf grobe Fehler und Ausreißer geprüft wurden, erfolgte ein Vergleich mit den in früheren Projekten ermittelten horizontalen Bewegungsraten der beobachteten Punkte. Momentan werden verschiedene Größen, welche die GPS-Auswertung maßgeblich beeinflussen, detailliert untersucht, um Höhenschätzungen mit bestmöglichen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmaßen zu erhalten. Hierbei spielen etwa die zeitlichen Abstände der ausgewerteten GPS-Beobachtungen eine bisher wenig beachtete Rolle. Nach Abschluss der Modellierungsphase werden die optimierten Auswertungsverfahren auf die Daten vorangegangener Beobachtungskampagnen angewandt, um so neue Aussagen hinsichtlich der Höhenänderungen ableiten zu können.

*Dipl.-Ing. René Borch
Dipl.-Ing. Michael Mayer
Dr.-Ing. Klaus Lindner
Dipl.-Ing. Claudia Depenthal
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Heck
Universität Karlsruhe*